المجلد 30 ـ العددان 12/11
نوڤمبر/ ديسمبر 2014



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر في دولة الكويت منذ عام 1986 عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

SCIENTIFIC
AMERICAN
November / December 2014

العددان 320/319 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي

قرن جديد في أبحاث الدماغ


عِلْم التعلّم

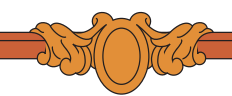

إدراك حِسّي إضافي


الاقتصاد الاحتيالي

كشّاف موضوعات مجلة العلوم 2014


عادات حسنة وأخرى سيئة


الحيلولة دون انقطاع شامل للكهرباء



مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

جائزة الكويت لعام 2015

دعوة للترشيح

تمشيا مع أهداف مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، وتحقيقا لأغراضها في تدعيم الإنتاج العلمي وتشجيع العلماء والباحثين العرب، تقوم المؤسسة بتخصيص جوائز في مجالات العلوم والآداب والفنون، وذلك وفق برامجها السنوية. وتسجل المؤسسة من خلال هذه الجوائز اعترافها بالإنجازات الفكرية المتميزة التي تخدم التقدم العلمي وتفتح الطريق أمام الجهود المبذولة لرفع المستوى الحضاري في مختلف الميادين.

وموضوعات جائزة الكويت لعام 2015 هي في المجالات الأربعة الآتية:

1 - العلوم الأساسية:	العلوم الطبية الأساسية	Basic Medical Sciences
2 - العلوم التطبيقية:	المياه	Water
3 - العلوم الاقتصادية والاجتماعية:	العلوم الاجتماعية	Social Sciences
4 - الفنون والآداب:	دراسات في اللغات الأجنبية وآدابها	Studies in Foreign Languages and Literature

تقدم المؤسسة سنوياً في مجال من هذه المجالات جائزة مقدارها 40 000 د.ك (أربعون ألف دينار كويتي) إلى واحد أو أكثر من أبناء دولة الكويت والبلاد العربية الأخرى. كما تقدم المؤسسة مع الجائزة النقدية ميدالية ذهبية ودرع المؤسسة وشهادة تقديرية، علماً بأن مواضيع مجالات الجائزة تتغير من عام إلى آخر.

ويتم منح جائزة الكويت وفق الشروط الآتية :

(1) أن يكون المتقدم عربي الجنسية ولديه ما يثبت منشأه العربي، من خلال شهادة ميلاد في بلد عربي أو جواز سفر عربي صالح، ويرفق مع طلب التقدم ما يثبت ذلك.

(2) أن يكون الإنتاج مبتكراً وذا أهمية بالغة بالنسبة إلى الحقل المقدم فيه ومنشوراً خلال السنوات **العشرين** الماضية. ويشمل الإنتاج العلمي ما يلي : أبحاثاً منشورة أو مقبولة للنشر في مجلات علمية محكمة وكتباً مؤلفة أو مترجمة أو محققة أو فصلاً منشوراً في كتاب على أن يتمتع الكتاب بترقيم دولي معتمد (ISSN)، ولا تدخل أبحاث رسائل الماجستير والدكتوراه في تقييم الإنتاج العلمي للمرشح.

(3) تَقبل المؤسسة ترشيحات الجامعات والهيئات العلمية، كما يحق للأفراد الحاصلين على هذه الجائزة ترشيح من يرونه مؤهلاً لنيلها، ولا تُقبَل ترشيحات الهيئات السياسية .

(4) تقبل المؤسسة طلبات المتقدمين من تلقاء أنفسهم على أن يكون تقديمهم مشفوعاً بقائمة تضم أربع شخصيات أكاديمية أو بحثية ومؤسسة علمية، وستخاطب المؤسسة ثلاثاً من هذه القائمة لتقديم خطابات تزكية للمتقدم.

(5) قرارات مجلس إدارة مؤسسة الكويت للتقدم العلمي نهائية ولا يجوز الاعتراض عليها .

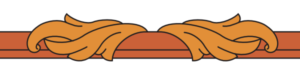
(6) تعبئة طلب التقدم للجائزة، ويُرسل مع جميع أعمال المتقدم إلكترونياً، ويمكن الحصول على طلب التقدم من خلال الموقع الإلكتروني للمؤسسة www.kfas.org.

(7) يرسل الطلب مع الأعمال وفق ملفات PDF، إما بواسطة وسيلة التخزين Flash Memory، على العنوان الآتي: **مؤسسة الكويت للتقدم العلمي** – الشرق شارع أحمد الجابر – التليفون المباشر: 0096522270465 أو بواسطة مواقع خدمات التخزين السحابية مثل (Google drive - Dropbox - OneDrive) وترسل عبر البريد الإلكتروني إلى مكتب الجوائز prize@kfas.org.kw

(8) تقبل الترشيحات لغاية 2015/5/31.

للاستفسار بشأن الجائزة يرجى الاتصال بالرقم الآتي: 22270465 فاكس: 22270462

أو البريد الإلكتروني لمكتب الجوائز : prize@kfas.org.kw





الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 30 ـ العددان 12/11 (2014)
320/319

مراسلات التحرير توجه إلى: رئيس تحرير العلوم
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق – الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
عنوان البريد الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw – موقع الوِب: www.oloommagazine.com
هاتف: 22428186(965+) – فاكس: 22403895(965+)

الإعلانات في الوطن العربي يتفق عليها مع قسم الإعلانات بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111*
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O.Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	5.4	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	2765	ليرة	Cyprus	CI	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	1497	شلن	ليبيا	1.7	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	1964	دينار	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	105	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	206	فرنك	فلسطين	1.25	U.S $	موريتانيا	889	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

■ **مراكز توزيع العلوم في الأقطار العربية [انظر الصفحة 75].**

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة: تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

شارك في هذا العدد

خضر الأحمد
سعيد الأسعد
علي الأمير
عمر البزري
رائد بورسلي
الطاهر بوساحية
هيام بيرقدار
عدنان جرجس
مطيع جوني
عدنان الحموي
محمد دبس
حمزة روماني
محمد مصطفى سعيد
محمد صفدي
عماد الدين علي
ليلى العلي
عزت قرني
ناصر المطيري

بزيارة موقع المجلة **www.oloommagazine.com** يمكن الاطلاع على مقالات الإصدارات المختلفة اعتبارا من العدد 1995/1.
كما يمكن الاطلاع على قاموس مصطلحات العلوم باتباع التعليمات الواردة على الصفحة الرئيسية للموقع.

يمكن تزويد المشتركين في العلوم بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:
1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and Formats ثم اضغط OK



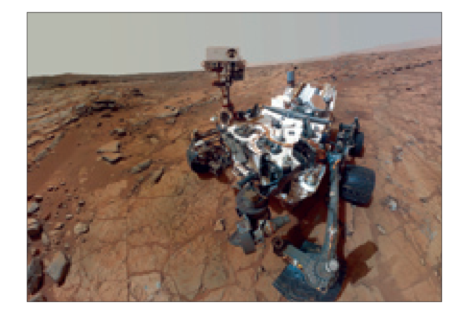
المجلد 30 العددان 12/11
نوفمبر/ ديسمبر 2014



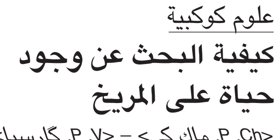
المقالات

ترجمة أو مراجعة

4



علوم كوكبية



كيفية البحث عن وجود حياة على المريخ

<Ch. P. ماك كي> – <V. P. گارسيا>

قد تحمل البعثات المستقبلية إلى الكوكب الأحمر أدواتٍ لازمة لعلم الأحياء الميكروية، يمكنها كشف ما إذا كانت ثمة حياة وجدت في وقت من الأوقات على أقرب جارٍ لنا.

خضر الأحمد - عدنان الحموي

10



علم الحاسوب

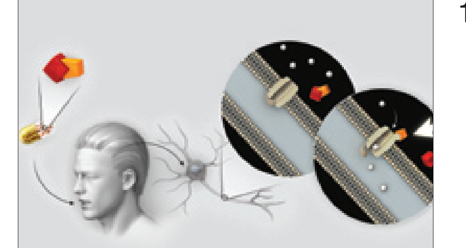
إدراك حسِّي إضافي

<G. دبلون> — <J. A. پاراديسو>

يوشك العالم أن يُملأ بمحسات صغيرة جدا ستغير آلية إبصارنا وسمعنا وتفكيرنا، بل وحياتنا.

سعيد الأسعد - حمزة روماني

16



علوم عصبية

قرن جديد في أبحاث الدماغ

<R. يوست> – <G. M. تشيرش>

كيف تقوم بلايين النورونات (العصبونات) بتوليد الأفكار والانفعالات؟ تقانات جديدة سوف تساعدنا على اكتشاف ذلك.

علي الأمير - هيام بيرقدار

25





علوم عصبية

مُحرِّك الذاكرة

<D. G. ماكي>

نحافظ على ذكرياتنا بإعادة بنائها مرةً تلو أخرى. فكيف قادنا أشهر مريض في علم الأعصاب إلى هذا الاكتشاف.

عزت قرني - مطيع جوني & التحرير

34



علم السلوك

عادات حسنة وأخرى سيئة

<A. M. گرييبل> – <K. S. سميث>

بوصف الآليات العصبية التي تكمن وراء طقوسنا اليومية، والكشف عن شفرتها، يأخذ الباحثون اليوم في تفسير كيف تتكون لدينا العادات وقد يتطلب التخلص منها صراعا كبيرا.

الطاهر بوساحية - عزت قرني & التحرير

«***مجلة العلوم***» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلثي محتوياتها ترجمة لـ«***ساينتفيك أمريكان***» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «***ساينتفيك أمريكان***» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيّم للصور والرسوم الملونة والجداول.

40



علم الاقتصاد

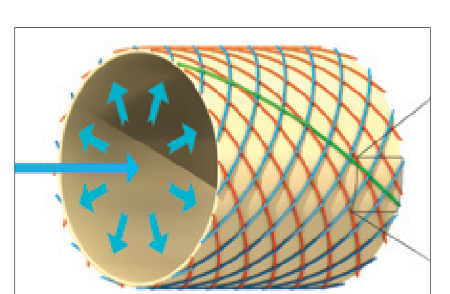
الاقتصاد الاحتيالي

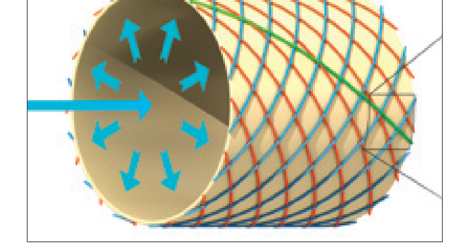
<K. باسو>

عماد الدين علي - عمر البزري

عديد من الممارسات التجارية المألوفة يماثل عمليات الاحتيال الشهيرة التي استخدمها <بونزي> في القرن الماضي.

46





تربية

علم التعلّم

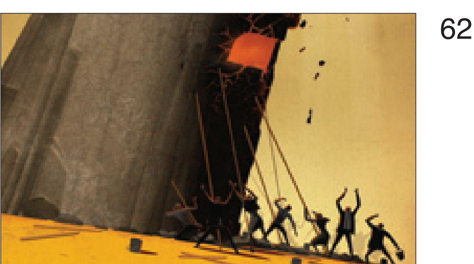
<B. كانترويتز>

وأيضا: "الكف عن إلقاء المحاضرات" <C. وايمان>

محمد دبس - عدنان الحموي

يستخدم الباحثون أدوات مستعارة من الطب وعلم الاقتصاد لمعرفة أفضل النتائج الملائمة في الصفوف الدراسية، لكن النتائج لم تحقق نجاحا يذكر في المدارس.

52





هندسة

مكونات ذات شكل متكيف آتية

<S. كوتا>

رائد بورسلي - محمد صفدي

آلات مرنة أحادية القطعة قد تجعل تجميع القطع الصلبة خلال عملية التصنيع شيئا من الماضي.

62

أمن إلكتروني

حماية البيانات الكبيرة من نفسها

<A. "S" پنتلاند>

عدنان جرجس - عماد الدين علي

أحد مصممي العصر الرقمي يقدم النصح حول كيفية التعامل مع المعلومات الضخمة في عصر التجاوزات الحكومية.

66



طاقة

الحيلولة دون انقطاع شامل للكهرباء

<مسعود أمين> — <Ph. F. شيوي>

ناصر المطيري - ليلى العلي - محمد مصطفى سعيد & التحرير

إن شبكة كهرباء أكثر ذكاء وتستجيب بصورة تلقائية للمشكلات الطارئة، يمكنها أن تقلل من العدد المتزايد من الانقطاعات الشاملة للكهرباء.

76 كشّاف موضوعات مجلة العلوم 2014

كيفية البحث عن وجود حياة على المريخ(*)

قد تقدم التجارب التي يجري الآن تطويرها إجابة حاسمة عن واحد من أعقد الأسئلة في العلم وهو: هل ثمة وجود لحياة خارج كرتنا الأرضية؟

<P .Ch. ماك كي> – <P .V. گارسيا>

تعلم الفلكيون أشياء كثيرة رائعة عن المريخ، وذلك منذ أن هبطت **المجسات** probes الأولى على هذا الكوكب قبل قرابة أربعة عقود. ونحن نعلم أن الماء السائل كان يجري في وقت من الأوقات عبر سطح المريخ، وأنه كان لهذا الكوكب ولأرضنا تاريخان متشابهان. وعندما نشأت الحياة على الأرض قبل نحو 3.5 بليون سنة، كانت حرارة المريخ أعلى مما هي عليه الآن، وكان يحوي محيطات سائلة وحقلا مغنطيسيا نشطا وجوا أسمك. وبافتراض وجود شَبَهٍ بين هذين الكوكبين، فمن المنطقي التفكير في أنه أيا كانت الخطوات التي أدت إلى نشوء حياة على كوكب الأرض، فإنها يمكن أن تكون حدثت أيضا على المريخ.

وفي الحقيقة، ومهما يكن من أمر، فقد يكون من الممكن أن ثمة حياة **ميكرسكوبية** microscopic مازالت موجودة على الكوكب الأحمر. إن كل بعثة أرسلت إلى جارنا في السنوات الخمس والثلاثين الأخيرة فحصت جيولوجيّته لا بيولوجيّته. لكن سفينة الفضاء التوأم مثل **ڤايكنگ 1** و **2**(1)، التي كانت أول من حطّ على هذا الكوكب عام 1976، أجرت أول تجربة – مازالت الوحيدة حتى الآن – للبحث عن وجود حياة على عالم آخر. وقد حملت كلٌّ منهما على متنها تجهيزات لأربع تجارب تتعلق بهذا البحث، وأرسلت كلُّ تجربة إلى الأرض بيانات غامضة. ويمكن القول إن بعثات ڤايكنگ قدمت إلينا أحجيات لا إجابات. بيد أننا نعرف الآن أن طرائق ڤايكنگ في البحث لم تكن قادرة على العثور على حياة على المريخ، حتى ولو كانت هذه الحياة موجودة هناك – وهذا يعني أن السؤال عما إذا كان المريخ يؤوي حياة مازال مفتوحا.

ولحسن الحظ، ففي العقود التي تلت ذلك، ابتكر **علماء الأحياء الميكروية** microbiologists عددا كبيرا من الأدوات لاكتشاف **متعضيات ميكروية** microorganisms، وهذه الأدوات صارت الآن واسعة الاستعمال هنا على الأرض. لكن إذا استعملتها إحدى البعثات الكثيرة التي يتوقع توجيهها قريبا إلى المريخ، فبمقدورها أن تقدم، أول مرة، إجابة عما إذا كان أقرب جيراننا إلينا ينبض أيضا بالحياة.

(*) HOW TO SEARCH FOR LIFE ON MARS
(1) Viking 1 and 2

باختصار

لم تقم بعثة إلى المريخ بالبحث عن وجود حياة عليه منذ إطلاق برنامج ڤايكنگ في السبعينات، وهذه البعثات لم تعثر على دليل مقنع على وجود حياة على المريخ، ونحن نعلم الآن أن تجارب البعثات كان محكوما عليها بالإخفاق.

ويمكن **لبحث حديث** عن وجود حياة على المريخ أن يستخدم اختبارات بيولوجية استعمالها شائع على الأرض.

وقد تضاف هذه **التجارب** إلى عدد من البعثات التي حُدِّدَ موعد إطلاقها إلى المريخ بحلول نهاية هذا العقد.



إن **فوهة كيل البركانية Gale Crater** - المبينة في الشكل إلى يسار مركز هذه الصورة المركبة - كانت، فيما مضى، تحوي ماء سائلا، وفي مطلع عام 2014، عثرت المركبة الجوّالة كيوريوسيتي Curiosity، التي تجوب سطح المريخ، على دليل يثبت وجود جزيئات عضوية على سهول الكوكب.

عملية البحث الأولى(*)

كانت تجارب ڤايكنگ تبحث عن وجود حياة باستعمال تقنيات البحث المتيسـرة في ذلك الوقت. وفـي التجربة الأولية، فإن المركبة التي حطت على سـطح المريخ أخـذت معها غَرْفَةً من تربتـه وأضافت إليهـا مركبات كربونيـة بوصفها غذاء لأي متعضٍ ميكـروي قد يكون موجوداً في التربة. فإذا كانت ثمة **ميكروبـات** microbes موجودة فعلا فـي التربة، فإننا نتوقع منها استهلاك الغذاء وإطلاق ثنائي أكسيد الكربون.

وفي الحقيقة، فقد كشفت بعثات ڤايكنگ هذا السلوك. وفي حد ذاته، يبدو أن هذا الاختبار يشـير إلى وجود متعضيات ميكروية في تربة المريخ. بيد أنه عند دمج هذا الاسـتنتاج في نتائج تجارب أخرى، لم يسـتطع الباحثون الوثوق بصحة ما توصلوا إليه.

وكانت مهمةُ التجربـة الثانية البحثَ عن دليل على وجود **تركيـب ضوئي** photosynthesis. غيـر أنها قدمت نتائج غير حاسـمة. وفي تجربة ثالثة أضيف ماء إلـى عينة من التربة. ولو كان ثمة وجود لحياة، فلربما ولدت الرطوبةُ ثنائي أكسيد الكربون، لكنها، بدلا من ذلك، ولدت أكسجينا. وكان هذا شيئا شديد الغرابة لعدم وجود تربة معروفة على الأرض تفعل ذلك. وقد استنتج العلماء أن الأكسجين تولّد بتفاعل كيميائي.

وفي التجربة الأخيـرة، كانت المركبتان الجوالتان تبحثان عن مركبات عضوية في التربة. علماً بأن **العضويات** organics تحتـوي على مركبـات كربونية هـي التي تكّـون العناصر الأساسـية للحياة. فلو وُجدت أي حيـاة على المريخ، لتوقعنا العثور على هذه المركبـات الكربونية. ومع ذلك، فالعضويات وحدها لن توفر دليلا حاسـما علـى وجود حياة على المريخ، لأننا نتوقع أيضا أن تودع النيازك باستمرار مركبات عضوية عليه. ومن المذهل ألا تعثـر التجربة على أي دليل على وجود عضويات أيا كانت.

وعمومـا، أربكت عمليـات التنقيب هـذه الباحثين. وكان معظم العلماء يعتقد أن التفاعلات الكيميائية هي المسؤولة عن النتائـج التي حصلوا عليها في آخـر تجربتين، لكن الكيمياء لم تستطع أن تفسر تماما أُولاهما. وقد اعتقدت قلة مسموعة الصوت من علماء المريخ، بأن التجربة الأولى عثرت فعلاً على دليل علـى وجود حياة على المريخ، غير أن معظم من خالفهم الرأي كان يراه كوكبا مقفرا لا حياة عليه.

وفـي عـام 2008، أي بعد مـرور 32 عامـا على هبوط ڤايكنگ على المريخ، بدأ حـل هذه الأحجيات يتضح عندما هبطت مركبة **فونيكس** Phoenix التابعة للوكالة ناسـا على القطب الشـمالي للمريخ. وقد أصيب الجميع بالدهشة حين كشـفت فونيكس **پركلـورات** perchlorate، وهو جزيء نادر علـى أرضنا مكون من أربع ذرات من الأكسـجين مترابطة **بأيـون كلورين**(1)، وهذه الـذرات مرتبطة بأيون مغنيزيوم أو كالسـيوم. وحين تبلغ درجة حرارة أمـلاح البركلورات 350 درجة سـيلزية، تتحلل مُطلِقة أكسـجينا وكلورينا **تفاعليّين**

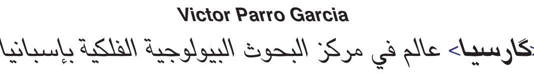
(*) THE FIRST SEARCH
(1) chlorine ion

المؤلفان



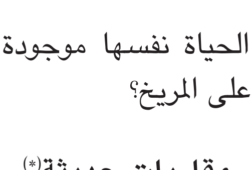
Christopher P. Mckay

<**ماك كي**> عالم في مركز بحوث إيمز التابع للوكالة ناسا.



Victor Parro Garcia

<**گارسيا**> عالم في مركز البحوث البيولوجية الفلكية بإسبانيا.



active. وكــون البركلورات تفاعلية جدا؛ مما يجعلها صالحة للاستعمال وقودا لكثير من الصواريخ.

لقــد جعل هــذا الاكتشــاف الباحثــين يــرون أن جزيئات البركلورات ربما طمســت علامات على وجــود حياة في التربة. فتجربة ڤايكنگ للبحث عن عضويات سخنت أولا عينة من التربة إلى 500 درجة سـيلزية، وربما أدى هذا إلــى تبخير أي جزيء عضــوي، ومن ثم اكتشــافها بحالة غازية. بيــد أن فريقا يقوده <R. ناڤارو-گونزاليس> [من جامعة مكسيكو]، وكان يضم أحدنا (<ماك كي>)، بَيَّن أن جزيئات البركلورات لابد أن تكون قد دمرت تماما أي مركب كربوني في التربة خلال عملية التسخين.

وجزيئات البركلورات تســلط الضوء أيضا على أحجيات التجربتين الأولى والثالثة. ففي التجربة الأولى، ولدت إضافةُ غذاء إلى التربة إطلاقَ ثنائي أكسيد الكربون. لكن البركلورات تولد مركبات تَبْيَضُّ عند تعرضها للأشعة الكونية. وباستطاعة هــذه المركبات تحليــل الجزيئات العضويــة (كتلك الموجودة في الغــذاء المضاف)، وفي هذه العملية يتولد ثنائي أكســيد الكربون. وفــي التجربة الثالثة، انبثق الأكســجين من التربة المُرطبة. وإنتاج البركلورات ينشــئ أيضا الأكسجين، بيد أن الأكســجين يظل محجوزا في البداية فــي التربة، ولا يتحرر منهــا إلا في وقت لاحق بعد ترطيبها كما حدث على ڤايكنگ. وهكذا، فقد تم الكشف عن سرَّين اثنين.

ومع ذلك، فإن الأمل باكتشاف وجود حياة على المريخ مازال مطروحا. فقد هبطت مركبة كيوريوســيتي الجوالة على المريخ في الشــهر 2012/8، ومازالت تأخذ عينات من التربة منذ ذلك الحــين. وفي وقت مبكر من عــام 2014 صرح الفريق - (الذي يضم <ماك كي>) المشــرف على الجهاز المسمى **جهاز تحليل العينات على المريخ** (SAM)[١]، والذي يقوده <P. ماهافي> [من مركز گودارد للطيران الفضائي التابع لناسا[٢]] - أن التجربة عثــرت على مركبــات كربونية في رســابات حجر طيني قديم مستقر في قعر فوهة گيل، حتى بوجود بركلورات. وهكذا، فإن العضويات موجودة على المريخ - وكل ما في الأمر أن ڤايكنگ كانــت غير قادرة على العثــور عليها. تُرى، هل يمكن أن تكون الحياة نفسها موجودة على المريخ؟

مقاربات حديثة(*)

فـي السـنــوات الأربعين الأخيــرة، التــي بُنيت خلالها مرْكبات ڤايكنگ التي هبطت على المريخ، تغيرت تقانة علم الأحياء الميكروية تغيرا واسعا ومثيرا. فقد كانت بعثات ڤايكنگ تستخدم طرائق **الاستنبات** culture، حيث تنمــو المتعضيات الميكروية في **أطباق پتري**[٣]. لكن هذه الطرائــق لا تعتبر دقيقة حاليا، إذ إننا نعرف الآن أن نســبة ضئيلة فقط من ميكروبات التربة يمكن اســتنباتها. وقد ابتكر العلماء تقنيات أكثر حساســية يمكنها أن تكتشــف مباشرة **الجزيئات الحيوية** biomolecules، التي تحيا حياة ميكروبية. وهذه الطرائق الجديدة توفر أساسا لطريقة جديدة في البحث عن أدلة على وجود حياة على المريخ.

وأوســع الطرائق انتشــارا هي التحري عن **الدنا** DNA و**سَلْسَلَتِه**[٤]. ولــم يعد من الضروري اســتنبات متعضٍ كي يتضاعف ويوفر قدرا كافيا من الدنا للسلســلة. وهناك كثير من الفِرَق التي تســعى إلى التوصل إلى طرائق لدمج تقانات استخراج الدنا في آلات مناسبة لبعثات المريخ القادمة.

وأحد عوائــق الاعتماد على تحري الدنــا لإظهار وجود حياة علــى المريخ هو أنه على الرغم من كون الدنا شــائعا فــي الحياة كلهــا على الأرض، فلا يمكــن وجوده في حياة غريبــة عنها. أمــا لو كان موجودا، فقد يكــون مختلفا جدا بحيث إن تجهيزات اكتشــاف الدنــا التي صُنعت للحصول عليه ستخطئه ولن تكشفه.

ولحســن الحــظ، يســتطيع المريخ احتضــان علامات أخــرى علــى وجــود حيــاة عليــه؛ ومــن ضمــن هــذه **الواســمات البيولوجيــة**[٥]: البروتينات و**عديد السكاريد** polysaccharides. فالبروتينــات هي **سلاسل خطية** linear

---

(*) MODERN APPROACHES

(١) the Sample Analysis at Mars

(٢) the NASA Goddard Space Flight Center

(٣) petri dishes: صحون زجاجية صغيرة رقيقة لها أغطية مرنة، وتســتعمل كثيرا في المختبرات لزرع البكتيريا.

(٤) sequencing

(٥) biomarkers



فوهة گيل البركانية، الجافة حاليا، كانت تحوي في وقت سابق، بحيرة مياه عذبةٍ ربما كان بإمكانها دعم حياة على المريخ. إن المركبة التي ستلي مركبة كيوريوسيتي الجوالة ستكون قادرة على وحمل تجارب يمكنها تحديد ما إذا كانت ثمة علامات على أن هناك حياة مازالت موجودة على هذا الكوكب.

chains طويلة مكونة من خلائط متنوعة من الأنواع العشرين المختلفة من الأحماض الأمينية التي تستعملها الحياة. فالأحماض الأمينية موجودة في النيازك، ومن الممكن أن تكون مركَّبا شائعا في البيئة **ما قبل الحيوية** prebiotic لأي عالَم. فعديد السكاريد هو سلاسل طويلة من السكاكر التي تنشئها **إنزيمات** enzymes **(مواد حفازة بيولوجية** biological catalysts)، هي نفسها بروتينات.

إن اكتشاف الجزيئات التي يماثل تعقيدها البروتين أو عديد السكاريد سيكون دليلا قاطعا على وجود حياة بتعريفها الواسع القائل إنها نظام بيولوجي **يُكوِّد** encode المعلومات ويستخدمها في بناء جزيئات مركبة. ويمكن لهذه الجزيئات المركبة أن تصمد على أي خلفية لجزيئات في البيئة ما قبل الحيوية البسيطة، مثلما يمكن لناطحة سحاب أن تصمد على حقل من الصخور الضخمة.

لقد كان أحدنا (<P. گارسيا>) يعمل على تطوير آلة لاستكشاف مثل هذه الجزيئات المعقدة على المريخ. وهذه الآلة تستند إلى تقنية - **اختبار تحليل العينة** immunoassay testing - بغية استكشاف مئات من الأنماط المختلفة من البروتينات وعديد السكاريد **وجزيئات بيولوجية** biomolecules (من ضمنها الدنا ذاته) في وقت واحد.

هذا وتوظف اختبارات تحليل المناعة **أجساما مضادة** antibodies - وهي بروتينات لها الشكل Y - كل منها يتماسك بنمط واحد فقط من الجزيئات الحيوية [انظر الإطار في الصفحة 8]. وفي اختبار تحليل المناعة، يُصبُّ محلول يمكن أن يحتوي على مواد تهمنا، على نسق كبير من الأجسام المضادة كل منها مصمم للارتباط بهدف معين. فإذا كان محلول العينة جزيئا حيويا يرتبط بجسم مضاد في النسق، فإن الجسم المضاد سينتزعه ثم يتعرف عليه بعد إعاقة حركته.

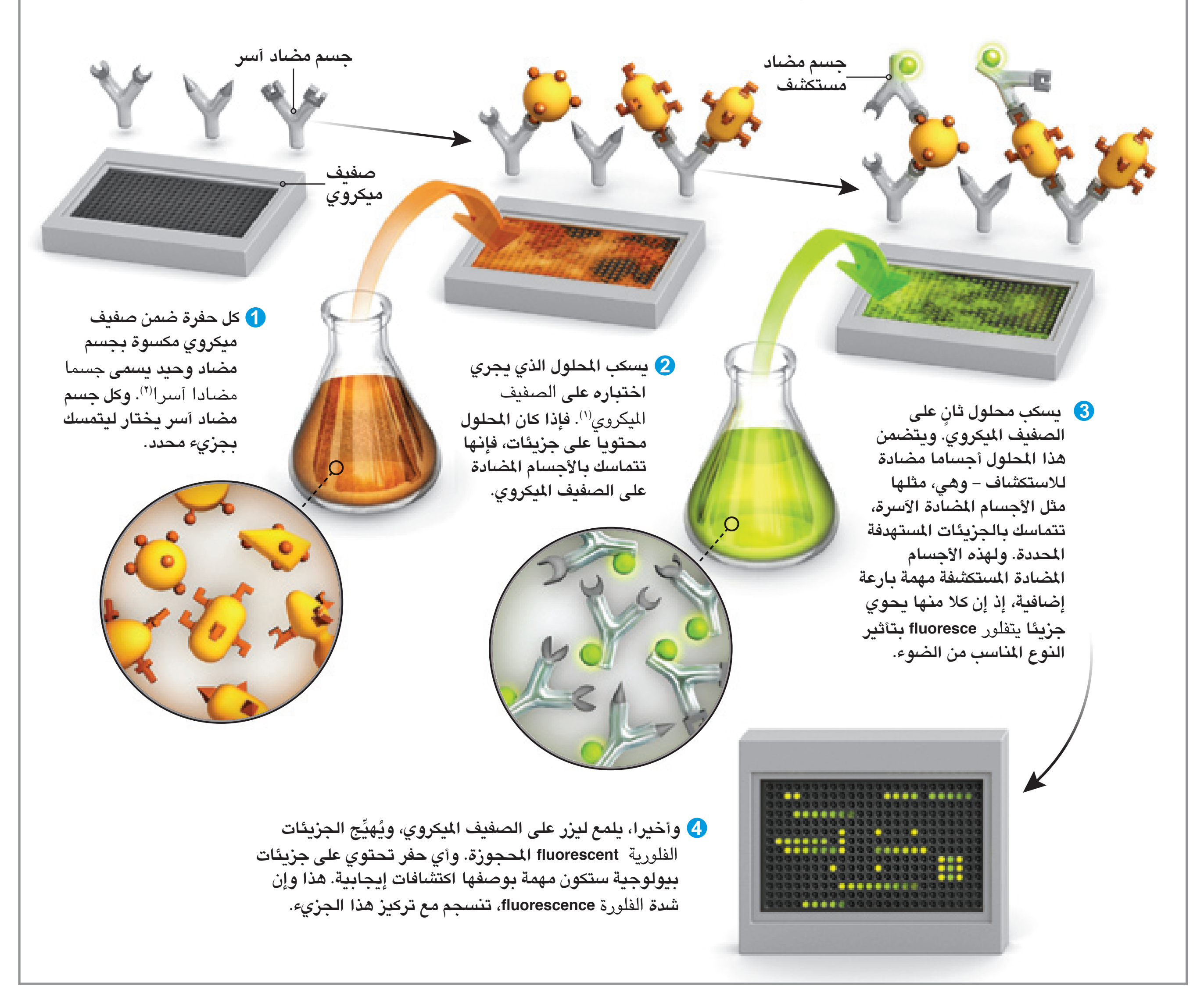
إحدى السمات اللطيفة لاختبار تحليل المناعة هي أن الأجسام المضادة تستطيع استكشاف الجزيئات التي هي أصغر وأقل تعقيدا من البروتينات الكاملة. وهكذا، فمن أجل الاختبار، يُمكن البحثُ عن جزيئات مرتبطة بالحياة، لكنها أقل تعقيدا، مثل شظايا البروتينات التي تكسرت إلى قطع. هذا وإن العثور على هذه القطع يقتضي أيضا وجود حياة حيثما نبحث.

إن جميع متعضيات الأرض تحتوي جماعيا على عدة ملايين من البروتينات المختلفة. وبهذا العدد الضخم الذي يمكن الاختيار منه، كيف ننتقي بضع مئاتٍ هي التي نبحث عنها في اختبار وحيد لتحليل المناعة؟ فالجواب المقتضب عن هذا السؤال هو أنه ما من أحد يعرف بثقة ما يتعين عليه انتقاؤه. بيد أن باستطاعتنا تقديم تخمينات بارعة تستند إلى استراتيجيتين: أولاهما، إن بمقدورنا البحث عن بروتينات مفيدة أو ضرورية لوجود حياة على المريخ. فمثلا، يمكننا البحث عن إنزيمات تستهلك پركلورات، أو إنزيمات تسمح لمتعضٍ ميكروي بأن يعيش في درجات حرارة منخفضة، أو إنزيمات يمكنها إصلاح الضرر الذي يحل بالدنا، والذي يسببه الإشعاع المؤين القوي للمريخ. وثانيتهما، إن باستطاعتنا استهداف الجزيئات المنتشرة في كل مكان عبر العالم الميكروبي، مثل **الپيپتيدوگليكان** peptidoglycan، وهو مُركِّبة كونية لجميع جدران الخلايا البكتيرية، أو **ثريفوسفات الأدينوزين** (ATP)(1) الذي تستعمله جميع المتعضيات التي

(١) adenosine triphosphate

مكشاف البروتين المريخي[*]

تستخدم اختباراتُ تحليل المناعة طبيعةَ الأجسام المضادة الشبيهة بالفِلكرو Velcro-like – وهي بروتينات لها شكل الحرف Y موجودة في النظام المناعي – وذلك لتؤدي دور مكاشيف دقيقة للجزيئات الغريبة. وبوسع اختبار واحد لتحليل المناعة كشف مئات من الجزيئات البيولوجية (مثل البروتينات)، وشظايا جزيئات أيضا. ويجري استمثال optimization هذه الاختبارات للبحث عن دليل على وجود حياة على المريخ.



تعيش على الأرض لنقل الطاقة الكيميائية للحصول على نشاط **أيضي**[٣] metabolic.

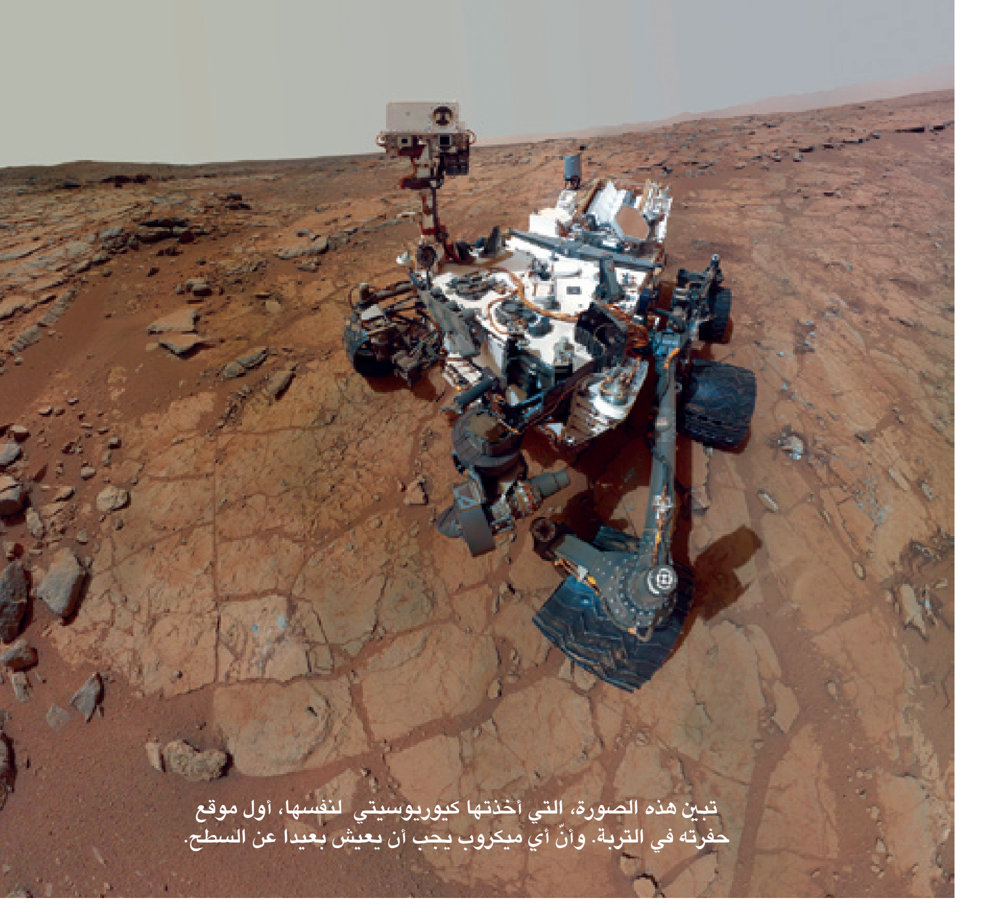
وحتى لو دمرت البيئة القاسية للمريخ جزيئات كبيرة مثل **الدنا** DNA والبروتينات، فمازال بمقدورنا العثور على أدلة على وجود حياة في أنقاضه. والإجراء الرئيسي هنا هو البحث عن أنماط. فكثير من أنماط الجزيئات يكافئ كيميائيا أحده الآخر، لكن روابطها قد تتلوّى إلى اليمين أو اليسار. فالحياة على الأرض محكومة بأحماض أمينية **يسارية**[٤] left-handed، فإذا تحرّت تجربة وجود أحماض أمينية، وعثرت على مجموعة خاصة تهيمن عليها روابط يسارية أو **يمينية**[٥] right-handed، فإن هذا دليل قاطع على وجود حياة. ومن المثير للاهتمام أنه إذا كانت الروابط يمينية – على عكس البروتينات الأرضية – فسيكون هذا دليلا على أن صيغ الحياة على المريخ نشأت وتطورت مستقلة عن الحياة على الأرض.

(*) The Martian Protein Detector
(١) the microarray
(٢) the capturing antibody
(٣) أو: استقلابي.
(٤) أو: روابطها تتلوى من اليمين إلى اليسار (بعكس حركة عقارب الساعة).
(٥) أو: روابطها تتلوى من اليسار إلى اليمين (كعقارب الساعة).

التخطيط للبعثة(*)

حملت ڤايكنگ ثلاث تجارب بيولوجية؛ وبإمكاننا تصور بعثة إلى المريخ تحمل أيضا ثلاث آلات للبحث عن واسمات بيولوجية: مكشافا للدنا، **وشيپة ميكروية لتحليل المناعة** immunoassay microchip، وآلة لتحري الأحماض الأمينية وتشخيصها. فالتقانة جاهزة تقريبا. والمهمة الثانية هي تحديد هدف - أي الموقع الذي يمتلك أفضل المواصفات لإيواء هذه الآلات.

والجليد والملح صديقان لهذه الآلات. إذ إنهما يقيانها الأذى و**التآكل** erosion. أما عَدوُّاها، فهما الإشعاع المؤيِّن والحرارة. ولحسن الحظ، فإن درجات الحرارة المنخفضة على المريخ تجعل التضاؤل الحراري مهملا حتى طوال عمر الكواكب. بيد أن الإشعاع المؤين قد يدمر تماما جزءَ الآلاتِ الواقع ضمن المتر الأول فوق سطح المريخ، وذلك خلال بضعة بلايين من السنين. لذا، فإن الأهداف الواعدة هي مواقع جليدية قد تكون احتضنت حياة حديثة - مثل موقع هبوط فونيكس قرب القطب الشمالي للمريخ - أو مواقع عرّى فيها التآكل حديثا المادةَ القديمة. وفي كلتا الحالتين، المطلوب هو حفر السطح لاستخراج عينات من منطقة تقع على عمق متر أو أكثر تحت سطح الكوكب.


تبين هذه الصورة، التي أخذتها كيوريوسيتي لنفسها، أول موقع حفرته في التربة. وأنّ أي ميكروب يجب أن يعيش بعيدا عن السطح.

والبعثات إلى المريخ التي يجري التخطيط لها الآن قد تُجري ذلك البحث. هذا، وإن بعثة **إكسومارس** ExoMars، التي حُدد عام 2018 موعدا لإرسالها، يجب أن تكون قادرة على حمل **مثقاب** drill. وحديثا، أعلنت الوكالة ناسا عن خطط لإطلاق نسخة أخرى من كيوريوسيتي وذلك عام 2020. وبإمكان إكسومارس وكيوريوسيتي الجديدة البحث في المناطق الاستوائية الجافة من المريخ عن واسمات بيولوجية في المكامن الملحية والرسوبية. (ولا يمكن لأي من المركبتين الجوالتين العمل في المناطق القطبية.)

وفيما يتعلق بالبحث القطبي، فإن الوكالة ناسا تدرس إجراء هبوط غير مكلف، يسمى **كاسر الجليد** icebreaker، يمكن أن يؤدي المهمة. وبتزويد هذه المركبة بمثقاب طوله متر وبآلة لتحليل المناعة، فقد تتمكن من الوصول إلى **الجمد السرمدي**(1) في القطب الشمالي من المريخ الغني بالماء، وذلك للبحث عن واسمات بيولوجية في أرض المريخ المكسوة بالجليد.

إن أيا من هذه البعثات سيكون مرشحا قيّما لقيادة العصر التالي لاستكشاف المريخ. هذا وإن العقود القليلة المنصرمة التي جرت فيها عمليات الاستكشاف لم تترك مجالا للشك في أن المريخ كان يؤوي ماء سائلا في وقت من الأوقات. وقد آن الأوان الآن لاختبار ما إذا كان هذا الكوكب، الذي كان في وقت سابق يحوي ماءً، قد وفر موطنا لأيٍّ من صيغ الحياة. فإذا وجدنا جزيئات بيولوجية على المريخ - وبخاصة إذا كانت هذه الجزيئات تشير إلى أن الحياة المريخية نشأت مستقلة عن الحياة على أرضنا - فسنحصل على نظرة ثاقبة إلى الحياة خارج أرضنا. ونحن نعرف أنه يوجد كثير من النجوم وكثير من الكواكب. وسنعرف أنه يوجد كثير من البيولوجيات، وهذا يعني في النهاية أن كوننا يزخر بتنوع واسع من الكينونات الحية. ■

(*) MISSION PLANNING

(1) permafrost: وهو طبقة متجلدة باستمرار تقع على أعماق متفاوتة تحت سطح الأرض.

مراجع للاستزادة

Signs of Life Detector (SOLID) experiment: http://auditore.cab.inta-csic.es/solid/en
nasa's Mars Exploration Program: http://mars.jpl.nasa.gov

Scientific American, June 2014

إدراك حسّي إضافي(*)

كيف يمكن لعالَم مُلِئ بالمحسات أن يغير الطريقة التي نرى ونسمع ونفكر ونعيش بها.

<G. دبلون> — <J. A. پاراديسو>

إليك هذه التجربة المسلية: انظر حولك وحاول إحصاء **المحسات الإلكترونية**[1] المحيطة بك الآن. إنك ستجد آلات تصوير[2] ومجاهير صوت[3] في حاسوبك؛ و**محسات منظومات تحديد المواقع** GPS sensors و**جيروسكوبات** gyroscopes في هاتفك الذكي؛ ومقاييس تسارع في جهاز مراقبة لياقتك البدنية. وإذا كنت تعمل في مجمع مكاتب عصري أو تقيم في منزل حديث التجديد، فأنت دائما في حضرة محسات تسبر الحركة ودرجة الحرارة ونسبة الرطوبة.

وقد غدت المحسات من الوفرة بمكان، لأنها - في الأغلب الأعم - تتبع **قانون مور** Moore's law: فهي ما انفكت تتصاغر حجما وتنخفض تكلفة وتزيد قدرة. وقبل بضعة عقود من الزمن فقط كانت الجيروسكوبات وأجهزة قياس التسارع، المتضمنة اليوم في كل هاتف ذكي، ضخمة الحجم وباهظة الثمن، ومقتصرة على تطبيقات معينة من مثل توجيه مركبات الفضاء والصواريخ. وفي غضون ذلك تعاظمت **الترابطية الشبكية** network connectivity وتزايدت بسرعة هائلة. وبفضل التقدم في مضمار تصميم **الإلكترونيات الميكروية (الصغرية)** microelectronics، وكذلك في مجال إدارة الطاقة والطيف الكهرمغنطيسي، بات بإمكان **شيپة ميكروية** microchip لا تزيد تكلفتها على دولار واحد أن تربط مجموعة كبيرة من المحسات بشبكة اتصالات لاسلكية منخفضة القدرة.

إن حجم المعلومات التي تولدها شبكة المحسات هذه هو مذهل حقا ويكاد يستعصي على الإدراك. ومع ذلك، فإن معظم هذه البيانات غير مرئي لنا. وتنزع بيانات المحسات إلى أن تبقى «مكنونة» ضمن خازنات لا يمكن النفاذ إليها إلا **بتجهيزة**[4] واحدة تستعملها في تطبيق محدد وحيد، مثل التحكم في الثرموستات (منظم الحرارة) الخاص بك أو إحصاء عدد خطواتك في يوم واحد.

إذا أزلنا هذه الخازنات، فإن الحوسبة والاتصالات ستتغيران بشكل عميق. فما أن نمتلك البروتوكولات التي تمكن التجهيزات والتطبيقات من تبادل البيانات (ثمة عدة بروتوكولات مهيأة للمنافسة حاليا)، حتى يصبح بإمكان أي تطبيق أن يستعمل المحسات أينما كانت. فإذا حصل ذلك فعلا، فإننا سنشهد ولوج عهد جديد طال ترقبه **لحوسبة عميمة الانتشار** ubiquitous computing، تنبأ به <M. وايسر> في هذه المجلة قبل ربع قرن [انظر: «حاسوب القرن الحادي والعشرين»، العلوم، العددان 8/7 (1996)، ص 64].

يخامرنا الشك في أن الانتقال إلى الحوسبة العميمة الانتشار سيكون **تزايديا**[5]، إذ نعتقد أنه سيكون تحولا جذريا يشبه إلى حد بعيد حلول الشبكة العنكبوتية العالمية

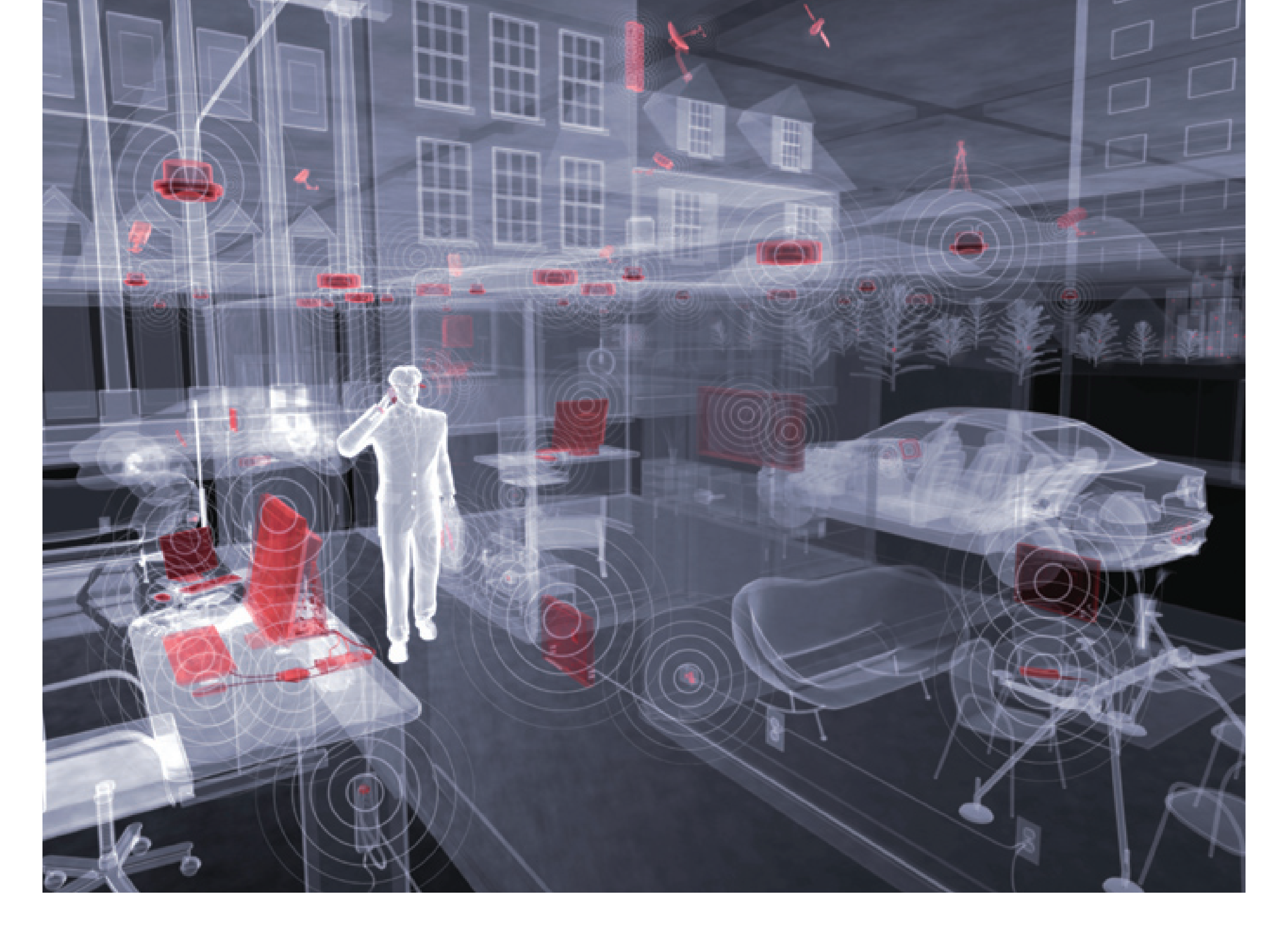
باختصار

بات العالَم الحديث زاخرا **بالمحسات الإلكترونية**[1] الموصولة بالشبكة، بيد أن معظم البيانات التي تولدها غير مرئية لنا، بل «مكنونة» في خازنات للاستعمال بتطبيقات معينة. فإذا أقصينا تلك الخازنات وأتحنا لبيانات المحسات أن تستعمل بأي تجهيزة موصولة بالشبكة، أيقنا عندها بوشك الحلول الحقيقي لعهد الحوسبة العميمة الانتشار.

وإذ يتعذر إدراك طبيعة التغير الذي ستحدثه الحوسبة العميمة الانتشار في حياتنا على وجه الدقة، فإن الاحتمال الغالب هو أن محسات إلكترونية تدس في البيئة ستكون بمنزلة امتدادات للجملة العصبية البشرية. ولربما أضحت التجهيزات الحاسوبية عمليا بدائل صنعية حسية يمكن للمرء أن يتقلدها.

وقد تُمكِّن **المحسات والحواسيب** من الانتقال - افتراضيا - إلى بيئات نائية، و«الوجود» هناك في الزمن الحقيقي، ومن شأن ذلك أن تكون له تداعيات عميقة في مفاهيمنا للخصوصية والحضور المادي.

(*) EXTRA SENSORY PERCEPTION
(١) the electronic sensors
(٢) أو: كاميرات
(٣) أو: ميكروفونات
(٤) device
(٥) أو: متدرجا



(وِب). ونحن نشـهد بالفعل بوادر هـذا التحول في تطبيقات الهاتـف الذكـي، مثل **خرائط گـوگل** Google Maps و**تويتر** Twitter والمشـروعات المؤسسـاتية الكبـرى التـي نشـأت حولهـا. لكن الابتكار سـوف يتنامى انفجاريـا حالما تصبح بيانات المحسـات العميمة الانتشـار متاحة مجانا على جملة التجهيزات. وينتظر أن تكون الموجة القادمة لشـركات التقانة ذات البليون دولار متمثلة بجامعي **القرائن**[1]، الذين سيقومون بضم معلومات المحسات المحيطة بنا وتركيبها في جيل جديد من التطبيقات.

إن التنبؤ بما ستحمله الحوسبة العميمة الانتشار وبيانات المحسات من دلالات لحياتنا اليومية هو من الصعوبة بدرجة تشـبه التنبؤ، قبل ثلاثين سنة خلت، بما سـتحدثه الإنترنت من تغيير فـي العالم. ومن يمن الطالع أن **نظرية الوسـائط** media theory يمكن أن تكون بمثابة دليل؛ ففي ستينات القرن العشرين تحدث <M. ماكلوهان> [المنظِّر في مجال الاتصالات] عن **وسـائط إلكترونيـة** electronic media (التلفاز بخاصة) تصبح امتدادا للجملة العصبية البشـرية. وليت <ماكلوهان> بين ظهرانينا اليوم، إذن لَعايَن واقع الحال. ونتساءل أنه عندما تنتشر المحسات في كل مكان، وحينما يغدو بالإمكان غرس المعلومات التي تجمعها هذه المحسـات في الإدراك البشري بطرائق جديدة – فأين تتوقف حواسـنا نحن البشـر؟ وماذا يعني «وجودنـا» الفيزيائي عندما يكون فـي مقدورنا توجيه إدراكنا بحرية عبر الزمان والمكان والقياس؟

تصور بيانات المحسات(*)

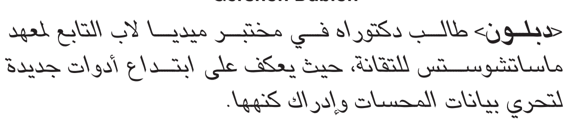
إننا ندرك العالَم من حولنا باسـتعمال حواسـنا كلها، لكننا نتمثل معظم البيانات الرقمية عن طريق شاشات عرض ثنائية البعد على أجهزة نقالة. فلا غرو، إذن، أن نكون عالقين بنقطة اختناق معلوماتية. ومع التزايد الانفجاري السـريع في الكم المعلوماتي حول العالم، نجد أنفسنا أقل قدرة على بقاء وجودنا في ذلك العالم، ومع ذلك، فثمة جانب مشـرق ومشـجع لهذا الفيض مـن البيانات ما دمنا نعرف كيف نسـتثمره بصورة صحيحة وفاعلة. ولهذا السـبب ينصـرف فريقنا في مختبر ميديـا لاب التابع للمعهد ماساتشوسـتس للتقانة (M.I.T.)[2] منذ سـنوات إلى العمل على طرائق لترجمة المعلومات، التي تقوم شبكات المحسات بجمعها، إلى لغة الإدراك البشري.

(*) VISUALIZING SENSOR DATA
(1) أو: السياقات
(2) the (M.I.T.) Media Lab

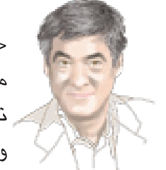

المؤلفان



Gershon Dublon



<**دبلون**> طالب دكتوراه في مختبر ميديا لاب التابع لمعهد ماساتشوستس للتقانة، حيث يعكف على ابتداع أدوات جديدة لتحري بيانات المحسات وإدراك كنهها.



Joseph A. Paradiso

<**پاراديسو**> أستاذ مشارك في فنون الوسائط وعلومها لدى مختبر ميديا لاب؛ يتولى فيه إدارة مجموعة البيئات المستجيبة، التي تستقصي طرائق شبكات المحسات في تعزيز الخبرة والتفاعل والإدراك البشري، والتأثير فيها ونقلها.

وكما أتاحت لنا متصفحات وِب مثل Netscape النفاذ إلى كتلة البيانات المحتواة في الإنترنت، كذلك ستمكننا متصفحات البرمجيات من فهم فيض بيانات المحسات القادمة. وقد وجدنا أن أفضل أداة لتطوير متصفح كهذا حتى الآن هي محرك الألعاب الڤيديوية - وهي البرمجيات ذاتها التي تتيح لملايين اللاعبين التآثر في بيئات حية دائمة التغير ثلاثية الأبعاد. وتمكنا فعلا، بنتيجة أبحاثنا على محرك الألعاب المسمى Unity 3D، من استحداث تطبيق أطلقنا عليه اسم **دوپيل لاب** DoppelLab، يتلقى دفقات من البيانات التي جمعتها المحسات المنشورة في أنحاء بيئة ما، ويحول المعلومات إلى **شكل بياني/كتابي** graphic form يبسطه فوق **نموذج هندسي للمبنى مصمم بمعونة الحاسوب** CAD) model)[١]. ففي مختبر ميديا لاب مثلا، يقوم التطبيق دوپيل لاب بجمع البيانات من المحسات المبثوثة في أرجاء المبنى، ويعرض النتائج على شاشة الحاسوب في الزمن الحقيقي، بحيث يستطيع مستخدم ينظر إلى الشاشة أن يرى درجة الحرارة في كل غرفة، أو يرصد حركة سير الأقدام في بقعة محددة، أو حتى موضع الكرة على طاولتنا الذكية التي ابتدعناها للعبة الپينگ پونگ[٢].

كذلك يستطيع دوپيل لاب أن يؤدي وظائف كثيرة أخرى إضافة إلى تصور البيانات وتجسيدها؛ فهو قادر على جمع الأصوات التي تلتقطها مجاهير الصوت المبثوثة في أنحاء المبنى، ثم استعمالها لإحداث بيئة صوتية مفترضة. ولضمان توفير **الخصوصية** privacy تخضع الدفقات الصوتية للتعتيم[٣] عند تجهيزة المحس المولدة لتلك الدفقات قبل إرسالها. ومن شأن هذا الإجراء أن يجعل الكلام غير مفهوم، مع الحفاظ على بيئة الفضاء المحيط والصفة الصوتية لشاغليه. وإن دوپيل لاب يُمكِّن أيضا من معاينة بيانات جرى تسجيلها في الماضي، ويستطيع المرء أن يرصد لحظة من الزمن من منظورات شتى، أو أن يسرع الأحداث بغية فحص البيانات عند مقاييس زمنية مختلفة، والكشف عن دورات خفية في حياة مبنى بعينه.

ولمتصفحات المحسات، كدوپيل لاب، تطبيقات تجارية مباشرة - مثل: لوحات تحكم افتراضي لمبان ضخمة مزودة بالمحسات. ففي الماضي كان من عادة قَيِّم المبنى، عندما يريد **اقتفار**[٤] موضع خلل في نظام التدفئة، البحث في برامج جداول البيانات والمخططات، وفهرسة الحالات الشاذة في قياسات درجات الحرارة، وتفقد الأنماط التي قد تشير إلى مصدر الخلل. أما باستعمال دوپيل لاب، فما على ذلك القيم إلا أن يتبين درجة الحرارة الحالية والمرغوب بها في كل غرفة على الفور، ومن ثم يكتشف منافذ تستغرق عدة غرف أو طبقات من المبنى. وأكثر من ذلك، يستطيع المخططون والمصممون وسكان المباني على حد سواء أن يتعرفوا طرائق استعمال البنية الأساسية للمبنى، وأين يجتمع السكان ومتى؟ وما هي الآثار التي تُحدِثها التغيرات في المبنى على أسلوب تفاعل الناس وأداء أعمالهم داخله؟

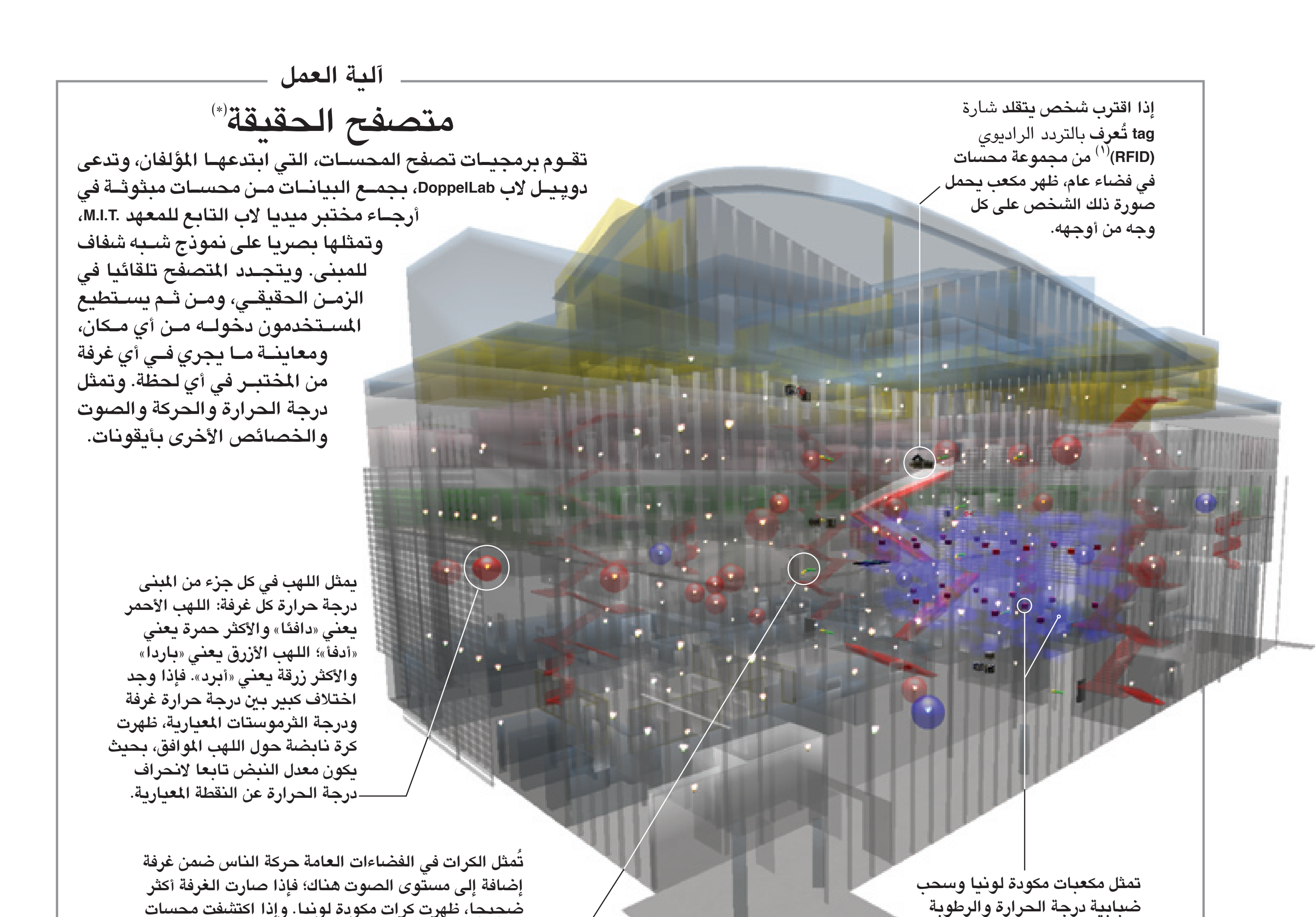
غير أننا لم نضع الاحتمال التجاري في حسباننا عندما أوجدنا دوپيل لاب، بل كنا نسعى إلى تحري مسألة أكبر وأكثر إثارة للاهتمام: دراسة أثر الحوسبة العميمة الانتشار في المعنى الأساسي للوجود الفيزيائي[٥].

إعادة تحديد مفهوم الوجود الفيزيائي[*]

عندما تجعل المحسات والحواسيب من الممكن الانتقال افتراضيا إلى بيئات بعيدة و «الوجود» هناك في الزمن الحقيقي، فإن مفهومي «هنا» (المكان) و «الآن» (الزمان) قد يبدآن باتخاذ معان جديدة. ونحن نزمع أن نستكشف هذا التغيير في مفهوم الوجود بالاستعانة بالتطبيق دوپيل لاب وبمشروع آخر يدعى **المرصد الحي** Living Observatory في مزارع تيدمارش[٦]، يرمي إلى «غمس» الزوار الحقيقيين والافتراضيين على حد سواء في بيئة طبيعية متغيرة.

ومنذ عام 2010 تتولى مجموعة منظمات بيئية عملية تحويل 250 فدانا إنكليزيا من **سباخ التوت البري**[٧] الواقعة جنوبي ولاية ماساتشوستس إلى منظومة أراض رطبة ساحلية محمية. ويشترك في ملكية هذه السباخ، التي تسمى مجتمعة مزارع تيدمارش، زميلتنا <G. داڤنپورت>. وإذ أسست <داڤنپورت> مسيرتها المهنية في مختبر ميديا لاب على مستقبل العمل الوثائقي، فهي شديدة الاهتمام بفكرة بيئة غنية بالمحسات تولد تلقائيا إنتاجها

(*) REDEFINING PRESENCE
(١) computer-aided design
(٢) Ping-Pong
(٣) أو: الإبهام
(٤) track down
(٥) أو: المادي
(٦) Tidmarsh Farms
(٧) cranberry bogs



آلية العمل

متصفح الحقيقة[*]

تقوم برمجيات تصفح المحسات، التي ابتدعها المؤلفان، وتدعى دوپيل لاب DoppelLab، بجمع البيانات من محسات مبثوثة في أرجاء مختبر ميديا لاب التابع للمعهد M.I.T.، وتمثلها بصريا على نموذج شبه شفاف للمبنى. ويتجدد المتصفح تلقائيا في الزمن الحقيقي، ومن ثم يستطيع المستخدمون دخوله من أي مكان، ومعاينة ما يجري في أي غرفة من المختبر في أي لحظة. وتمثل درجة الحرارة والحركة والصوت والخصائص الأخرى بأيقونات.

الوثائقي الخاص. وبمساعدة منها نقوم حاليا بتطوير شبكات محسات توثق **العمليات المتصلة بالتبيؤ** ecological processes، وتمكن الناس من اختبار البيانات المتولدة من تلك المحسات. وقد بدأنا، بالفعل، بتأهيل مزارع تيدمارش بمئات المحسات اللاسلكية التي تعنى بقياس درجة الحرارة والرطوبة والضوء والحركة والرياح والصوت وتحلب **نسغ الأشجار**(٢)، وفي بعض الحالات، مستويات مواد كيميائية عديدة.

وثمة برامج ومشروعات فعالة لإدارة الطاقة ينتظر أن تسهم في تمكين هذه المحسات من العمل على بطارياتها على مدى سنوات، في حين ستُزوَّد بعض المحسات بخلايا شمسية توفر من تعزيز الطاقة ما يكفي لتمكينها من إرسال الصوت – كصوت النسيم، وتغريد الطيور القريبة، والمطر يتقاطر على أوراق الشجر. ويضطلع زملاؤنا المختصون بعلوم الأرض في جامعة ماساتشوستس أمهيرست بتزويد مزارع تيدمارش بمحسات تبيؤ متطورة تشتمل على أجهزة لقياس درجة الحرارة مصنوعة من الألياف البصرية وقابلة للعمل تحت الماء، وبإمكانها قياس مستويات الأكسجين المنحل في الماء. وستتدفق جميع هذه البيانات إلى قاعدة بيانات على مخدماتنا التي يستطيع المستخدمون استعلامها واستكشافها باستعمال تطبيقات شتى.

ومن هذه التطبيقات ما سيكون عونا **لعلماء التبيؤ**(٣) في معاينة بيانات بيئية جمعت عند السبخة، ومنها ما سيصمم لعامة الناس. فمثلا، نحن الآن بصدد تطوير متصفح شبيه بدوپيل لاب يمكن استعماله لزيارة مزارع تيدمارش افتراضيا من أي حاسوب موصول بالإنترنت. وفي هذه الحالة تكون خلفية الشاشة مشهدا رقميا لطوبوغرافية السبخة(٤)، تكتنفه أشجار ونباتات افتراضية. ويضيف محرك الألعاب أصواتا وتأثيرات

(*) The Reality Browser
(١) Radio Frequency Identification
(٢) tree sap flow
(٣) ecologists
(٤) أو: معالمها السطحية

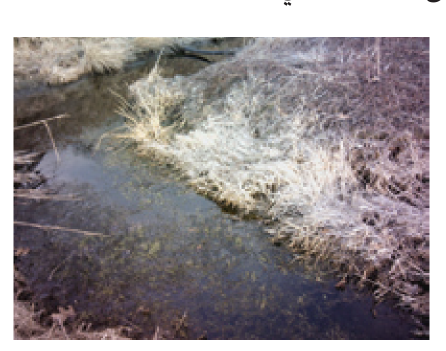
وبيانات تلتقطها المحسات المدسوسة ضمن السبخة. وتمتزج الأصوات الصادرة عن مجموعة مجاهير الصوت وتخبو تقاطعيا، وذلك تبعا للموقع الافتراضي للمستخدم. وسيكون بإمكانك التحليق فوق السبخة وسماع كل ما يحدث مباشرة، أو الإصغاء عن كثب إلى ما يجري في بقعة صغيرة، أو السباحة تحت الماء وسماع الأصوات التي تلتقطها **المسامع المائية**[1]. ولسوف تهب رياح افتراضية، مسوقة ببيانات زمن حقيقي جمعت من الموقع، خلال **الأشجار الرقمية**[2].

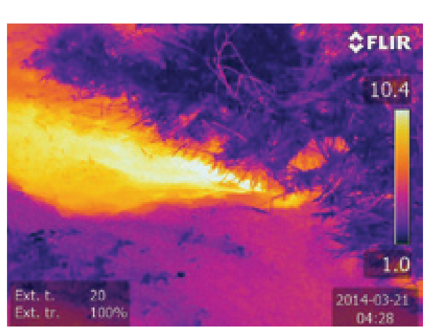
و**المرصد الحي**[3] هو أقرب إلى مشروع استعراضي منه إلى نموذج أولي عملي. ولكنه من السهل تصور تطبيقات ميدانية؛ فالمزارعون يمكنهم استعمال نظام مشابه، لمراقبة أراضيهم الملأى بالمحسات، وتتبع وجود الرطوبة أو المبيدات أو الأسمدة أو السوائم داخل أراضيهم الزراعية وما حولها. كذلك تستطيع المؤسسات في المدن استعماله لرصد تقدم العواصف والفيضانات في مدينة ما، في حين يبحث عن الناس الواقعين في خطر أو شدة لإنقاذهم ومساعدتهم. وليس استطرادا تصور استعمال هذه التقانة في حياتنا اليومية؛ فكثيرون منا يبحثون مثلا عن مطاعم مناسبة على الموقع Yelp قبل توجههم إليها. وسيكون بإمكاننا يوما ما أن نتحقق حتى من جوِّ المطعم (هل هو مزدحم وصاخب الآن؟) قبل أن ننطلق عبر المدينة.

وفي نهاية المطاف قد يوفر هذا النوع من «الوجود» البعيدِ الخيارَ الثاني من بين أفضل الخيارات **للانتقال من بعد** teleportation. ونحن نستعمل أحيانا وسيلة دوبيل لاب لننشئ اتصالا بالمختبر ميديا لاب حينما نكون على سفر، لأن سماع الأزيز ورؤية مظاهر النشاط يقربانا أكثر قليلا إلى مواطننا الأصلية. وبالطريقة نفسها يمكن أن يتخيل المسافرون أنفسهم في ديارهم يقضون أوقاتا سعيدة مع أهليهم، في حين أنهم في الواقع على الطريق.

تعزيز حواسنا(*)

في حكم المؤكد أن الأجهزة التي يمكن تقلدها على الجسد ستهيمن على الموجة القادمة من الحوسبة. ونحن نرى في ذلك فرصة لاستنباط طرائق أكثر تلقائية للتآثر مع بيانات المحسات. ولربما أضحت الحواسيب التي يمكن للمرء أن يتقلدها – في حاصل الأمر – بدائل صنعية حسية.

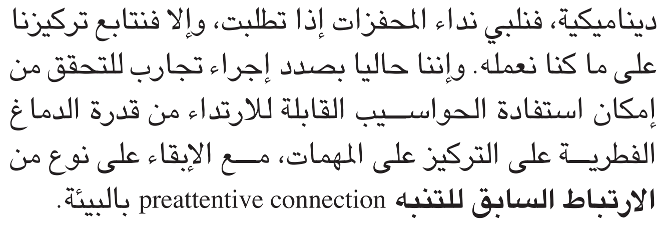




كاميرات تعمل بالأشعة تحت الحمراء في سبخ مليء بالمحسات تكشف مياها جوفية (تُرى هنا باللون الأصفر) تتدفق نحو مياه سطحية أبرد. وفي حين تقترب درجة حرارة المياه السطحية من درجة حرارة الجو، تحافظ المياه الجوفية على درجة حرارة ثابتة طوال العام.

وينهمك الباحثون منذ زمن طويل في إجراء تجارب على **المحسات والمفعلات القابلة للارتداء**[4] على الأجساد باعتبارها تجهيزات مساعدة، وذلك بمقابلة الإشارات الكهربائية الصادرة عن المحسات بحواس إنسان، في عملية تعرف **بالتعويض الحسي** sensory substitution. وتشير بحوث أجريت حديثا إلى أن **اللدونة العصبية** neuroplasticity – وهي قدرة الدماغ البشري على التكيف فيزيائيا مع المحفزات الجديدة – قد تُمكِّن **الاستعراف على المستوى الإدراكي** perceptual-level cognition للمحفزات «**الحسية الإضافية**[5]» التي تنتقل عن طريق قنوات الإحساس الموجودة فينا. ومع ذلك، ما زالت ثمة فجوة كبيرة بين بيانات شبكات المحسات والتجربة الحسية البشرية.

ونعتقد أن من مفاتيح إطلاق إمكانات البدائل الصنعية الحسية امتلاكَ معرفة أفضل بحالة التنبه لدى المرتدي. وتتجه المحسات الحديثة القابلة للارتداء والمنتمية إلى أعلى التقانات، من قبيل **كوكل كلاس** Google Glass، إلى أداء دور وسطاء طرف ثالث على كواهلنا؛ فتقترح معلومات ذات صلة – سياقيا – بمرتديها (كأن تنصح المرتدي بحضور فيلم معين لدى مروره بدار للسينما). ولكن هذه المقترحات تأتي على نحو غير متوقع، وكثيرا ما تكون مشوشة، بل مزعجة، على عكس منظوماتنا الحسية؛ فمنظوماتنا الحسية تسمح لنا بالتكيف لضبط الاستقبال أو إلغائه بطريقة



ديناميكية، فنلبي نداء المحفزات إذا تطلبت، وإلا فنتابع تركيزنا على ما كنا نعمله. وإننا حاليا بصدد إجراء تجارب للتحقق من إمكان استفادة الحواسيب القابلة للارتداء من قدرة الدماغ الفطرية على التركيز على المهمات، مع الإبقاء على نوع من **الارتباط السابق للتنبه** preattentive connection بالبيئة.

فتجربتنا الأولى ستقرر إمكان قدرة تجهيزة قابلة للارتداء في الواقع العملي على تمييز المصدر الصوتي الذي يستمع إليه

(*) AUGMENTING OUR SENSES

(1) hydrophones؛ أو: الهيدروفونات

(2) the digital trees

(3) the Living Observatory

(4) wearable sensors and actuators

(5) extra sensory

عندما تجعل المحسات والحواسيب من الممكن الانتقال افتراضيا إلى بيئات بعيدة، فإن مفهومي «هنا» و «الآن» قد يبدآن باتخاذ معان جديدة.

المستخدم، من بين مجموعة من المصادر الصوتية. ونزمع توظيف هذه المعلومات لتمكين من يتقلد تجهيزة من ضبط استقبال أصوات المجاهير والمساميع الحية في مزارع تيدمارش بطريقة تشبه كثيرا استقبالها لمصادر الصوت الطبيعية المختلفة. تخيل أنك تركز على جزيرة نائية في بركة، وأنك بدأت رويدا رويدا تسمع الأصوات البعيدة، وكأن أذنيك حساستان بدرجة تكفي لإطالة المسافة. تصور أيضا أنك تسير على ضفة جدول وسمعت صوتا من تحت الماء، أو نظرت نحو الأعلى إلى الأشجار وسمعت تغريد الطيور عند أعلى الظلة. إن هذا الأسلوب لنقل المعلومات الرقمية قد يشير إلى بداية ارتباط سلس بين منظوماتنا الحسية وبيانات المحسات الشبكية. وأغلب الظن أننا سوف نشهد في وقت ما أن **غرائس**[1] implants حسية أو عصبية هي التي ستوفر ذاك الارتباط؛ ونأمل بأن تكون هذه التجهيزات، وكذلك المعلومات التي تتيحها، جزءا من منظوماتنا الحسية القائمة، لا أن تزيحها لتحل محلها.

حلم أم كابوس؟[*]

يبدو العالم الذي وصفناه للتو مخيفا لكثير من الناس، ونحن منهم؛ فإعادة صوغ مفهوم الوجود يعني تغيير علاقتنا بمحيطنا وعلاقة أحدنا بالآخر. وما يقلق أكثر هو ما تحمله الحوسبة العميمة الانتشار من تداعيات كبيرة تتصل بالخصوصية. ومع ذلك، فإننا نعتقد أن ثمة طرائق عديدة لجعل إجراءات ضمان السلامة جزءا من التقانة.

فقبل عقد من الزمن، وفي سياق أحد مشروعات فريق عملنا، قام <M. لايبوويتس> بنشر أربعين آلة تصوير ومحسا في مختبر ميديا لاب. وصمم لهذا الغرض مفتاح إضاءة ضخما في كل تجهيزة، بحيث يكون بالإمكان إيقاف فاعليته بيسر وسهولة. و لكن عالمنا اليوم يحوي فيضا من آلات التصوير ومجاهير الصوت والمحسات الأخرى المبثوثة، بحيث لايستطيع شخص أن يوقف فاعليتها – حتى وإن كانت مزودة بمفتاح إغلاق. وسيتعين علينا، إذن، أن نجد حلولا أخرى.

من تلك الحلول جعل المحسات تستجيب للسياق وللأولويات المستحبة لشخص ما. وقد بحثت <W-N. گونگ> في فكرة من هذا النوع عندما كانت تعمل مع فريق أبحاثنا قبل سنوات؛ فاستحدثت عروة مفاتيح خاصة تصدر إشعاعا لاسلكيا لتنبيه تجهيزات المحسات القريبة على مُستحبَّات مستخدمها فيما يتصل بخصوصيته الذاتية. وكانت كل شارة من هذا التصميم تحمل زرا كبيرا معلما بكلمة «لا»؛ فإذا ضغط المستخدم الزر ضَمِن لنفسه فسحة من الخصوصية الكاملة، تحجب فيها جميع المحسات الواقعة ضِمْن حدود المدى عن إرسال بياناته.

وبطبيعة الحال، فإن أي حل سوف يتعين التثبت من أن جميع **عقد المحسات** sensor nodes المحيطة بالشخص مهيأة لاستقبال مثل هذه الأوامر واحترامها. ولئن كان تصميم پروتوكول كهذا يستدعي تحديات تقنية وقانونية، فقد تلتفت مجموعات بحث حول العالم إلى دراسة مقاربات متعددة للتعامل مع هذه المشكلة المحيرة. فمثلا، قد يخول القانون شخصا ملكية بيانات تتولد على مقربة منه أو التحكم فيها، ثم يترك له الخيار بين أن يشفر تلك البيانات أو أن يقيد من دخولها الشبكة. وهنا يشار إلى أن من أغراض التطبيق دوپيل لاب والمرصد الحي كليهما مراقبة سيرورة تطور تداعيات الخصوصية هذه في الفضاء الآمن لمختبر أبحاث مفتوح. ومع انكشاف العثرات والتداعيات السيئة نتمكن من إيجاد حلول مناسبة. وقد تبين لنا من تصريحات أدلى بها <E. سنودن> [مقاول سابق في وكالة الأمن القومي] إلى عهد قريب، أن الوضوح[2] مسألة حيوية، وينبغي التعامل مع ما يهدد الخصوصية تشريعيا، وفي منتديات ومنابر مفتوحة. وفيما عدا ذلك، نعتقد أن التطوير الأساسي للعتاديات والبرمجيات المفتوحة المصدر هو خير وسيلة دفاع في مواجهة الانتهاكات العامة للخصوصية.

وفي هذه الأثناء، سيكون في مقدورنا البدء بتلمس أنواع الخبرات الجديدة التي تنتظرنا في عالم تسيره المحسات. ونحن بالطبع متفائلون برؤى المستقبل، ونعتقد جازمين أن من الممكن ابتداع تقانات تنصهر في بيئاتنا وأجسادنا وتكون جزءا منها. ومن شأن هذه الأدوات أن تبعدنا عن شاشة الهاتف الذكي وتعيدنا إلى بيئاتنا، وأن تجعلنا أكثر، لا أقل، حضورا في العالَم من حولنا. ■

(*) DREAM OR NIGHTMARE?
(1) أو: زرعات
(2) أو: الشفافية

مراجع للاستزادة

Rainbow's End. Vernor Vinge. Tor Books, 2006.

Metaphor and Manifestation: Cross Reality with Ubiquitous Sensor/Actuator Networks. Joshua Lifton et al. in *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 8, No. 3, pages 24–33; July–September 2009.

Scientific American, **July 2014**

قرن جديد في أبحاث الدماغ(*)

جهود علمية حثيثة تنير لنا معالم الطريق لفهم الكيفية التي تصنع وفقها أعقدُ آلة في العالم أفكارَنا وانفعالاتِنا.

<R. يوست> – <G .M. تشيرش>

على الرغم من مضي قرن من البحث العلمي المستدام، مازال علماء الدماغ يجهلون طريقة عمل ذلك العضو الذي يزن ثلاثة **أرطال إنكليزية**[1]، ويشكل مقرا للنشاط الواعي برمته عند البشر. وقد حاول العديد من العلماء التغلب على هذه المعضلة عبر استقصاء الجهاز العصبي لدى الكائنات الحية الأقل تطورا. وقد مضت بالفعل قرابة ثلاثين عاما على نجاح الباحثين في وضع خريطة لجميع وصلات الخلايا العصبية البالغ عددها 302 خلية عصبية في **الدودة المدورة** the roundworm (Caenorhabditis elegans). بيد أن الرسم البياني لهذه الأسلاك في الدودة لم يؤد إلى فهم كيف تولد هذه الاتصالات مختلف أنماط السلوك، حتى البدائي منها مثل التغذية وممارسة الجنس. ومازلنا نفتقد حتى الآن بيانات تتعلق بنشاط **النورونات (العصبونات)** neurons المرتبط بأنماط معينة من السلوك.

والصعوبة في إقامة رابط بين البيولوجيا والسلوك عند البشر أكبر بكثير، وتتناقل وسائل الإعلام روتينيا تقارير حول مسوحات تصويرية تشير إلى أن هناك مواقع معينة في أدمغتنا تضيء عندما نشعر بأن الآخرين يرفضوننا، أو عندما نتحدث بلغة أجنبية. فهذه القصص الإخبارية من شأنها أن تترك لدينا انطباعا بأن التقانة الحالية تقدم لنا رؤى أساسية عن كيفية عمل الدماغ، وهو انطباع مضلل بلا ريب.

ومن الأمثلة التي تستحق الذكر على عدم التوافق المشار إليه تلك الدراسة الذائعة الصيت التي ذهبت إلى أن هناك خلايا دماغية مفردة تقوم بإطلاق **دفعة** impulse كهربائية استجابة لرؤية وجه الممثلة <J. أنيستون>. وعلى الرغم من الضجة الكبيرة حولها، فقد كان اكتشاف نورون <أنيستون> أمرا شبيها باكتشاف رسالة وصلتنا من كائنات فضائية غريبة توحي بوجود حياة ذكية في الكون، ولكن دون أن تحمل الرسالة أي إشارة إلى معنى هذا الإرسال. فنحن مازلنا نجهل كليا الكيفية التي يؤثر بها النشاط الكهربائي المتدفق من ذلك النورون في قدرتنا على تعرف وجه <أنيستون> ومن ثَمَّ ربطه بمقطع من برنامج فريندس Friends التلفزيوني. ولكي يتعرف الدماغ على هذا النجم أو ذاك، فلابد له على الأرجح من تنشيط مجموعة كبيرة من النورونات التي تتواصل فيما بينها عبر **كود** code عصبي، علينا فك تكويده أولا.

تشير قضية نورون <أنيستون> إلى أن العلوم العصبية وصلت إلى مفترق طرق. فمع أن ما لدينا من تقنيات يتيح لنا تسجيل نشاط النورونات المفردة عند الأحياء من البشر، فإن السير قدما بصورة مجدية يتطلب منا تزويد هذا الحقل من العلوم بمجموعة جديدة من التقانات التي تمكن الباحثين من رصد النشاط الكهربائي لآلاف أو حتى بالأحرى لملايين النورونات، وكذلك تغيير هذا النشاط، على أن تكون هذه التقنيات قادرة على فك كود ما أطلق عليه المشرح العصبي الإسباني الرائد <S. R. كاجال> عبارة «الأدغال التي لا تخترق

(*) THE NEW CENTURY OF THE BRAIN

(1) الرطل الإنكليزي (الباوند) = 0.4536 كغ تقريبا.

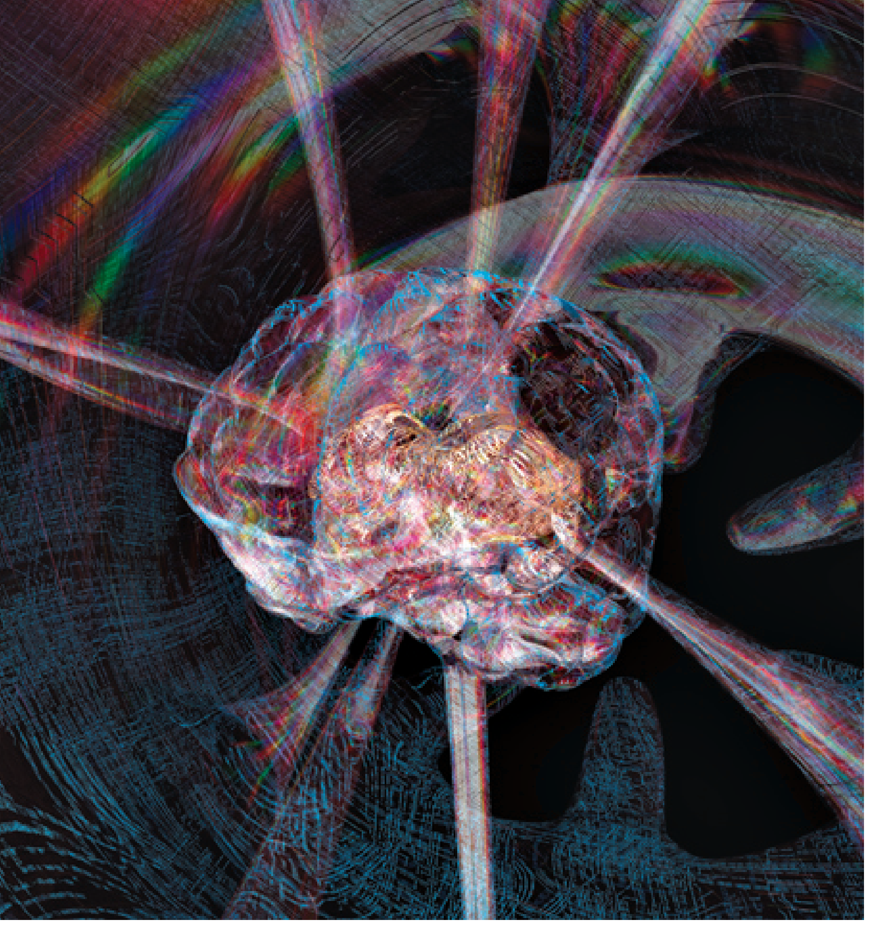
باختصار

لايزال **الدماغ** وطريقة استخدامه لتوليد الأفكار الواعية يشكلان أحد أكبر الألغاز التي يواجهها العلم بشتى فروعه.

ويحتاج علماء الجهاز العصبي **لفهم الدماغ بصورة أفضل** إلى وسائل جديدة تمكنهم من تحليل الطريقة التي تشتغل بها الدارات العصبية.

ومن الممكن تلبية تلك الحاجات عن طريق **تقانات** قادرة على تسجيل نشاط الدارات الدماغية أو رصده.

تقوم إدارة <**أوباما**> الآن بمبادرة ضخمة للمضي قدما في تطوير مثل هذه التقانات.





حيث تاه فيها كثير من الباحثين.»

فمن حيث المبدأ، يمكن لهذه **الطرائق المتقدمة** breakthrough methods ردم الفجوة بين **قدح** firing النورونات وبين المعرفة بما فيها الإدراك والانفعال وصنع القرار والوعي نفسه في آخر الأمر. ففك كود النماذج الحقيقية للنشاط الدماغي الكامنة وراء التفكير والسلوك من شأنه أيضا تقديم تصورات عميقة حاسمة عما يحدث عندما تختل وظيفة الدارات العصبية في الاضطرابات النفسية والعصبية مثل: الفصام أو التوحد أو داء ألزهايمر أو داء پاركنسون.

وقد بدأت الدعوات حول ضرورة إحداث قفزة تقانية لدراسة الدماغ تجد آذانا صاغية خارج المختبرات. وبالفعل أعلنت إدارة ‹أوباما› في عام 2013 أنها بصدد إنشاء مبادرة واسعة النطاق تسمى **بحوث الدماغ من خلال مبادرة تطوير التقانات العصبية المبتكرة**[1]، اختصارا «**مبادرة الدماغ**» the BRAIN Initiative، وهي أكبر مسعى إلى تطوير العلوم أعلن في الفترة الثانية لولاية الرئيس ‹أوباما›.

وبتمويل أوليّ ينوف على 100 مليون دولار لعام 2014 تهدف مبادرة الدماغ إلى تطوير تقانات قادرة على تسجيل إشارات من الخلايا الدماغية بأعداد أكبر بكثير مما سبق، إضافة إلى قدرتها على تسجيل الإشارات من مناطق دماغية بكاملها. وجاءت مبادرة الدماغ متممة لمشاريع ضخمة أخرى خارج الولايات المتحدة مثل **مشروع الدماغ البشري**[2] الذي يموله الاتحاد الأوروبي بمبلغ قدره 1.6 بليون دولار لمدة عشرة أعوام، وهو مشروع يرمي إلى تطوير حاسوب يحاكي الدماغ بكامله. إلى جانب ذلك، هناك مشاريع بحثية طموحة أخرى في العلوم العصبية تم إطلاقها في الصين واليابان وإسرائيل. وهذا الإجماع العالمي على الاستثمار في علوم الدماغ يعود بذاكرتنا إلى المبادرات العلمية بعد الحرب العالمية الثانية التي انصب اهتمامها على الأولويات الوطنية الملحة مثل: الطاقة النووية والأسلحة الذرية واكتشاف الفضاء وأجهزة الحاسوب والطاقة البديلة وتحديد تسلسل الجينوم. لا ريب في أننا اليوم نشهد انبلاج قرن الدماغ بامتياز.

مسألة شاشة التلفاز[*]

إن الكيفية التي تقوم بها خلايا الدماغ بحوسبة مفهوم ‹أنيستون› السالف الذكر - أو أي أمر مماثل آخر نواجهه في تجاربنا الشخصية، أو خلال إدراكنا للعالم من حولنا بمختلف صنوف الإدراك - لايزال تعقبها مشكلة مستعصية حتى اليوم. الأمر الذي يعني أنه علينا الانتقال من قياس نورون مفرد إلى السعي إلى فهم كيف يمكن لمجموعة من هذه الخلايا أن تشارك في **تآثرات** interactions معقدة تفضي إلى كل أكبر لايتجزأ يتجسد فيما يسميه العلماء **الخاصية الظاهرة** emergent property. فدرجة حرارة مادة ما أو صلابتها أو الحالة المغنطيسية **لمعدن** metal ما، على سبيل المثال، لاتنشأ إلا نتيجة تآثرات متبادلة بين عدد وافر من الجزيئات أو الذرات. فذرات الكربون مثلا تكون باتحادها إما خاصية الصلابة المتمثلة بالألماس أو خاصية الليونة المتجسدة في الگرافيت الذي يتفتت بسهولة إلى الحد الذي يمكنه من تشكيل كلمات على الورق. فسواء الصلابة أو الليونة لايتوقف نشوؤها على الذرات المفردة، بل على مجموعة التآثرات المتبادلة فيما بينها.

وقد يكون الدماغ أيضا قادرا على توليد ضروب من الخصائص الناشئة التي لايمكن فهمها من خلال معاينة نورونات مفردة أو حتى معاينة صورة غير دقيقة تماما لنشاط مجموعات كبيرة من هذه النورونات فقط. فإدراك زهرة أو استرجاع ذكريات الطفولة لايمكن فهمها إلا من خلال رصد نشاط دارات دماغية تمرر إشارات كهربائية معقدة صعبة الفهم إلى سلاسل متشابكة مكونة من مئات أو آلاف النورونات. وقد

(*) THE TV SCREEN PROBLEM

(1) the Brain Research through advancing Innovative Neurotechnologies Initiative

(2) The Human Brain Project

المؤلفان



Rafael Yuste

<**يوست**> هو أستاذ للعلوم البيولوجية والعلوم العصبية في جامعة كولومبيا والمدير المساعد في معهد مؤسسة كاڤلي لعلوم الدماغ، وقد حاز مؤخرا جائزة «المدير الريادي» التابعة للمعاهد الوطنية للصحة في أمريكا.

George M. Church

<**تشيرش**> هو أستاذ الوراثيات (علم الوراثة) في جامعة هارڤرد، وهو مؤسس موقع الإنترنت المعروف PersonalGenomes.org، وهو موقع مفتوح للجميع، يتضمن بيانات تتعلق بالجينومات البشرية والتصوير العصبي والخصال السلوكية والمعرفية. وهو أيضا عضو في المجلس الاستشاري لمجلة ساينتفيك أمريكان.

واجه علماء الجهاز العصبي هذه التحديات منذ فترة طويلة، إلا أنهم مازالوا يفتقرون إلى الوسائل اللازمة لتسجيل نشاط الدارات الفردية المسيرة للإدراك أو الذاكرة، أو الكامنة وراء أنماط السلوك المعقدة والوظائف الاستعرافية.

وللتغلب على هذه العقبة تم إطلاق محاولة تتضمن وضع خريطة للوصلات التشريحية – أو لمشابك ما بين النورونات، وهو مسعى يسمى **كونيكتوميكس**[1] connectomics. وسوف يزودنا **مشروع الكونيكتوم البشري**[2] Human Connectome Project الذي تم إطلاقه مؤخرا في الولايات المتحدة برسم بياني لبنية شبكة الدماغ السلكية. غير أن هذه الخريطة، شأنها شأن خريطة الدودة المدورة، لن تكون سوى نقطة انطلاق فقط. فهي بحد ذاتها، لن تكون قادرة على توثيق الإشارات الكهربائية المتغيرة باستمرار التي تتمخض عنها استعرافية عمليات معينة.

ولكي نتمكن من تسجيل مثل هذه الإشارات، تلزمنا طرائق جديدة كليا لقياس النشاط الكهربائي تتجاوز قدراتها قدرات التقانات الحالية إلى الحد الذي تمدنا فيه – إما بصورة دقيقة عن نشاط مجموعة صغيرة نسبيا من النورونات أو بصور أخرى شاملة عن مناطق دماغية واسعة، ولكن دون أن تقتضي دقة هذه الصور التعرف على ما إذا كانت دارات دماغية نوعية في حالة نشاط أو حالة عطالة. أما **تسجيلات المقياس الدقيق** fine-scale recordings، فتجرى حاليا عن طريق غرس إلكترودات إبرية الشكل داخل أدمغة حيوانات المختبر لالتقاط **النبضات (الدفقات)** impulses الكهربائية المنطلقة من النورونات المفردة بعد تحريضها من قبل الإشارات الكيميائية الواردة إليها من النورونات الأخرى. وعندما يتم تنبيه نورون ما بطريقة ملائمة تنقلب **فلطية** voltage الغشاء الخارجي، فيحث هذا الانقلاب قنوات الغشاء على السماح لأيونات الصوديوم أو غيرها من الأيونات الموجبة بالولوج إلى داخل الخلية. وما أن يحصل هذا التدفق الوارد حتى تتولد منه نبضة **حسكية (عابرة)** spike ترتحل إلى الأسفل على امتداد البروز الطويل للخلية – أي **المحوار** the axon – محرضة إياه على إرسال إشارة كيميائية خاصة به إلى النورونات الأخرى ليتم بذلك انتقال الإشارة. إن تسجيل نشاط نورون واحد فقط هو أشبه ما يكون بحالتنا حين نحاول متابعة حبكة فيلم سينمائي رقمي عالي الدقة، ولكن من خلال التحديق في أول **بقعة ضوء (پيكسل)** pixel على الشاشة. لكننا نعجز عن رؤية المشهد بكامله. أضف إلى ذلك أن هذه الطريقة مؤذية، فهي قد تلحق الأذى بنسيج الدماغ أثناء اختراقه بالإلكترودات.

أما الطرائق الواقعة في الطرف الآخر من الطيف التي تستقصي النشاط الجمعي للنورونات في الدماغ بكامله، فهي أيضا غير كافية. إذ إن جهاز **تخطيط الدماغ الكهربائي** (EEG)[3] المألوف الذي اخترعه <H. برگر> في عشرينات القرن العشرين، لايتيح للإلكترودات المثبتة على الجمجمة سوى قياس النشاط الكهربائي المشترك لأكثر من 100 000 خلية عصبية تحتها – فهذا الجهاز يسجل «**الموجات» الاهتزازية**[4] أي السعة الصاعدة والهابطة لبضعة ميلي ثوانٍ، علما بأنه لا يفيد في معرفة أي نورون مفرد كان ناشطا أم متوقفا عن العمل. و**التصوير بالرنين المغنطيسي الوظيفي** (fMRI)[5] – الذي يظهر تلك اللطخات الملونة الدالة على مناطق الدماغ الناشطة – يسجل النشاط في أنحاء الدماغ جميعها بطريقة غير مؤذية، ولكن ببطء وبدقة مكانية ضعيفة. كما أن كل عنصر من عناصر الصورة، أو **الڤوكسل**[6] voxel، يتكون من نحو 000 80 نورون. إضافة إلى ذلك، فإن التصوير fMRI لايستقصي النشاط النوروني بصورة مباشرة، بل يسجل فقط تغيرات ثانوية تطرأ على تدفق الدم إلى داخل الڤوكسيلات.

ولكي يحصل الباحثون على صورة لأنماط من أمثلة نشاط الدماغ ينبغي أن يكون بحوزتهم **مجسات** probes جديدة قادرة على التسجيل من جموع تضم آلاف النورونات. ويمكن لتقانة النانو بمنتجاتها المثيرة في بعض الأحيان، أن تقيس أبعادا أصغر من أبعاد الجزيئات الفردية فتساعدنا أيضا على إجراء **تسجيلات المقياس الكبير**[7]. وقد تم بناء

(١) هو اختصاص فرعي يعنى بإنتاج ودراسة الكونيكتوم.
(٢) يعالج مشروع الكونيكتوم البشري جانبا مفتاحيا لأحد أكبر التحديات العلمية في القرن الواحد والعشرين، ويرمي هذا المشروع إلى اكتشاف السبل العصبية التي تشكل الأرضية لوظائف الدماغ والسلوك، وموقعه على الإنترنت هو: humanconnectome.org
(٣) (EEG) اختصارا لـ"electroencephalograph"
(٤) the oscillating "waves"
(٥) functional magnetic resonance imaging
(٦) أو: پكسل ثلاثي الأبعاد
(٧) large-scale recordings

ما يلزم لإدراك وردة لايمكن فهمه إلا من خلال رصد نشاط دارات دماغية تمرر إشارات كهربائية إلى سلاسل مكونة من آلاف النورونات.

نمــاذج أوليــة prototypes لمصفوفات تحتــوي على أكثر من 100 000 إلكتــرود على **قاعدة سـليكونية**[١]، حيث يمكن لمثل هذه الوســائل أن تسجل النشــاط الكهربائي لعشرات آلاف النورونات في شــبكية العين. وسوف يســمح لنا الاستمرار بتطوير هندسة هذه التقانة بتجميع المصفوفات في بنى ثلاثية الأبعــاد، ومن ثمّ تصغيــر قطر الإلكتــرودات لتجنب إلحاق الضرر بالأنسجة وكذلك إطالة هذه الإلكترودات كي تتمكن من اختراق **القشـرة الدماغيـة** the cerebral cortex، وهي أقصى طبقة خارجية من الدماغ، والوصول إلى أعماقها. وقد نصبح بفضل هذه التطورات قادرين على تســجيل عشــرات الآلاف من النورونات عند المريــض في حين علينا أن نبين الخواص الكهربائية لكل خلية.

وليس اســتعمال الإلكترودات إلا إحدى طرق تتبع نشاط النورونــات. فهناك أيضا طرائق أخرى تجاوزت المحســات الكهربائيــة أخذت تشــق طريقها اليوم إلــى المختبر. إذ بدأ البيولوجيون باقتباس تقانات طورهــا فيزيائيون وكيميائيون وعلماء وراثة لكي يروا النورونات الحية في الحيوانات اليقظة أثناء ممارستها حياتها اليومية.

في عــام 2013 وصلتنا معلومة عما قــد يكون في جعبتنا اليــوم، وذلك حينما قام ‹M. أرينس›، في مزرعة البحث العلمي جانيليا[٢] بمعهد هوارد هيوز الطبي في أشبورن بولاية فرجينيا، باستخدام **يرقة سمك مخطط** a larval zebra fish لإجراء تصوير مجهري لكامل الدماغ. والسمك المخطط هو أحد الكائنات التي يفضلها اختصاصيو البيولوجيا العصبية لأن هذا النوع يتمتع بالشــفافية في حالته اليرقية، ومن ثم يسمح بمعاينة أعضائه الداخلية بســهولة، بما فــي ذلك الدماغ. وقــد قامت التجربة المذكــورة على تعديل نورونات الســمك المخطط جينيا بطريقة تجعلها تتألــق عند دخول أيونات الكالســيوم إلى الخلية بعد أن **انقدحـت** fired النورونــات. وهناك نوع حديث من المجاهر يضيء دماغ الســمك المخطط من خلال تســليط الضوء عليه بكامله في الوقت الذي تقوم فيه كاميرا خاصة بتصوير لقطات سريعة للنورونات المنارة بمعدل صورة واحدة في الثانية.

هذه التقنية المســتخدمة التي يطلق عليها اســم **تصوير الكالسـيوم** calcium imaging والتي طورها أحدنا(‹يوست›) لتسجيل النشاط الكهربائي للدارات، هي تقانــة مكنتنا من تســجيل 80% من نورونات الســمكة المخططة البالغ عددهــا 100 000 نــورون. وقــد تبين أخيــرا أن مناطق كثيــرة من الجهاز العصبي ليرقة السمك المخطط تنشط وتخمد بالتناوب وفق نماذج غريبة أثناء راحتها. فمنذ أن قدم ‹برگــر› جهاز تخطيط الدماغ الكهربائــي للعالم، والباحثون يدركــون أن الجهاز العصبي في جوهره دائم النشــاط. إن تجربة الســمك المخطط تبعث فينا الأمل بــأن تتمكن تقانات التصوير الأحدث من مســاعدتنا على التعاطي مع أكبر تحد يواجهنــا في العلوم العصبية، ألا وهو فهم **القدح التلقائي**[٣] والمتواصل الذي تقوم به مجموعات كبيرة من النورونات.

وتجربة الســمك المخطط هي مجرد بداية، فعلماء الجهاز العصبــي مازالوا بحاجة إلى تقانات أكثر تطورا لاكتشــاف كيــف يقوم النشــاط الدماغي بإنتاج الســلوك. فهم بحاجة، مثلا، إلى أنواع جديدة من المجاهر المصممة لتصوير النشاط العصبي بثلاثة أبعاد في وقت واحد. كما أن تصوير الكالسيوم بوضعه الحالي لايزال يعمل ببطء شــديد لايسمح بتعقب قدح النورونات السريع، وهو أيضا غير قادر على قياس الإشارات المثبطة التي تقوم بإخماد النشاط الكهربائي في الخلية.

ويســعى اختصاصيــو الفيزيولوجيــا العصبيــة الذين يعملــون جنبا إلى جنب مع اختصاصيي الوراثيات والفيزياء والكيمياء إلى تحسين التقنيات البصرية التي تسجل النشاط النوروني مباشرة عبر استكشاف قلطية غشاء الخلية، عوضا عن استشــعار الكالســيوم. إذ إن الأصبــاغ التي تغير من خصائصها الضوئية اســتجابة لتقلبات القلطية – والتي إما أن تكــون مودعة على النورون أو تكون مدمجة ضمن غشــاء الخلية بتقنية الهندســة الجينية – يمكن لها أن تكون أفضل من تصوير الكالسيوم. فهذه التقنية البديلة التي تعرف باسم **التصويـر القلطـي** voltage imaging قــد تمكن الباحثين في نهاية المطاف من تســجيل النشاط الكهربائي لكل نورون من النورونات التي تتكون منها دارة عصبية بكاملها.

بيد أن التصويــر القلطي لايزال في مراحله الأولى. وينبغي على الكيميائيــين أن يعززوا قدرة الأصباغ على تغيير لونها أو بعض خصائصها الأخرى اســتجابة لقدح النورون. كما يجب أيضــا أن يتم تصميم الأصباغ على نحو يضمن عدم قيام هذه

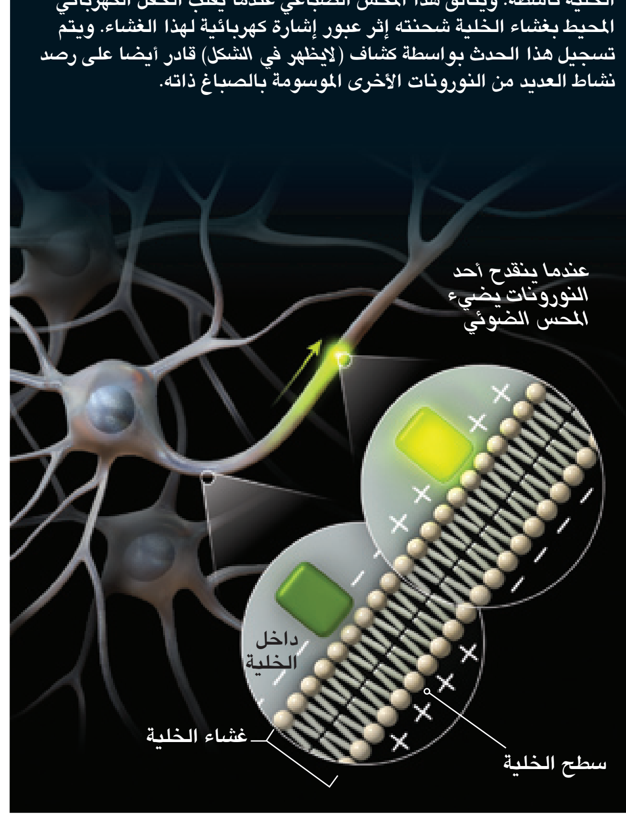
(١) silicon base
(٢) Janelia Farm Research
(٣) spontaneous firing

إصغاء إلى ملايين النورونات(*)

اختصاصيو العلوم العصبية بحاجة إلى وسائل أكثر كفاءة وأقل إزعاجا لرصد الدارات الدماغية التي تنتقل فيها الإشارات الكهربائية من نورون (عصبون) إلى آخر. وهناك مجموعة من التقانات بعضها قيد الاستخدام، وبعضها الآخر لايزال الباحثون يأملون بتطويرها – لعلها تمكن العلماء من تسجيل نشاط الآلاف، أو الملايين، من النورونات. وسوف يكون من شأن هذه التقانات الجديدة أن تحل محل الطرائق البطيئة وغير الدقيقة التي غالبا ما تتطلب استخدام مسابير كهربائية مؤذية.

التصوير القلطي(**)

تقوم هذه التقنية على غرس صباغ في أحد النورونات لتحديد ما إذا كانت الخلية ناشطة. ويتألق هذا المحس الصباغي عندما يقلب الحقل الكهربائي المحيط بغشاء الخلية شحنته إثر عبور إشارة كهربائية لهذا الغشاء. ويتم تسجيل هذا الحدث بواسطة كشاف (لايظهر في الشكل) قادر أيضا على رصد نشاط العديد من النورونات الأخرى الموسومة بالصباغ ذاته.



شريط الدنا المسجل(***)

وهو طريقة جديدة مختلفة كليا عن الطرق المعروفة – وهي استعمال شريط تسجيل جزيئي – يتم في أحد سيناريوهاته وضع ضفيرة مفردة من الدنا ذات تسلسل معروف من النيوكليوتيدات في إحدى الخلايا بالقرب من سطحها. وبعدئذ يقوم إنزيم يسمى بوليميراز الدنا(١) بإضافة نيوكليوتيدات جديدة تترابط مع ضفيرة الدنا ويتكون جزيء بضفيرة مزدوجة (في اليسار). فعندما ينقدح نورون تتدفق أيونات الكالسيوم عبر قناة غشاء انفتحت للتو؛ مما يؤدي إلى دفع الإنزيم لإضافة النيوكليوتيدات غير الصحيحة (في اليمين) وهو خطأ يمكن اكتشافه لاحقا عندما تتم سلسلة ضفيرة الدنا.



المواد الكيميائية بإلحاق الأذى بالنورون. وبالفعل، فإن علماء البيولوجيا الجزيئية يقومون اليوم ببناء **محسات قلطية مكودة**(٢). وهي خلايا تقوم بقراءة متوالية جينية لإنتاج بروتين متألق يتم إيصاله إلى داخل غشاء الخلايا الخارجي. وما أن تصل مثل هذه البروتينات إلى هناك حتى تصبح قادرة على تغيير درجة تألقها استجابة للتبدلات الحاصلة في قلطية النورون.

وكما هي الحال مع الإلكترودات، فإن المواد غير البيولوجية المتطورة المستوحاة من تقانة النانو، يمكنها أن تكون مواد مساعدة. فعوضا عن الأصباغ العضوية أو المشعرات الجينية، يمكننا صناعة نوع جديد من المحسات القلطية من **نقاط كمومية (كوانتية)** quantum dots – وهي جسيمات صغيرة مكونة من **أنصاف نواقل**(٣) لها آثار ميكانيكية كمومية ويمكن تصميم خصائصها البصرية بدقة بالغة، مثل اللون أو شدة الضوء المنبعث منها. ويتمتع الألماس النانوي، مادة جديدة أخرى تم استيرادها من عالم البصريات الكمومية، بحساسية كبيرة إزاء التغيرات في الحقول الكهربائية التي تحدث بحدوث تقلبات في نشاط الخلية الكهربائي. كما يمكننا أيضا أن نمزج جسيمات نانوية بأصباغ عضوية تقليدية أو بأصباغ معدلة جينيا لإنتاج جزيئات هجينة يمكن أن يكون فيها الجسيم النانوي بمثابة «**قرن استشعار**» (**هوائي**)

(*) Listening in on Millions of Neurons
(**) Voltage Imaging
(***) DNA Ticker Tape
(١) DNA polymerase
(٢) encoded voltage sensors
(٣) semiconductor

antenna يقع على عاتقه تضخيم الإشارات الضعيفة الصادرة عن الأصابغ المتألقة استجابة لتنشيط نورون ما.

الوصول إلى الأعماق(*)

هناك تحد تقني كبير آخر نواجهه في سعينا إلى تظهير نشاط نوروني. ويتمثل هذا التحدي بصعوبة إيصال الضوء إلى الدارات العصبية الواقعة على عمق كبير تحت سطح الدماغ وصعوبة تجميعه منها. ولحل هذه المشكلة، قام خبراء تطوير التقانة العصبية بالتعاون مع باحثين في البصريات الحاسوبية وهندسة المواد والطب الذين هم أيضا بحاجة إلى أن يبصروا، وبطريقة غير مؤذية، عبر المواد الصلبة مثل الجلد أو الجمجمة، أو معاينة ما تحتويه **شيبة حاسوبية**[1]. ويدرك العلماء منذ زمن طويل أن الضوء عندما يصطدم ينتثر جزء منه وأن الفوتونات المنتثرة يمكنها، من حيث المبدأ، أن تظهر تفاصيل الجسم الذي يعكسها.

فضوء **المصباح الومضي** flashlight، على سبيل المثال، يخترق اليد ويخرج من الجانب الآخر كوهج منتشر، ولكن من دون أن يعطينا أي فكرة عن مكان وجود العظام أو الأوعية الدموية تحت الجلد. بيد أن المعلومات حول المسار الذي يتخذه الضوء داخل اليد لاتختفي كليا، فموجات الضوء المضطربة تنتشر ثم تتداخل مجددا فيما بينها. وهذا النموذج من الضوء يمكن تصويره بكاميرا، ويمكن بعد ذلك وبطرائق حاسوبية جديدة إعادة بناء صورة لما كان يتوارى عن أنظارنا في الداخل – وهي تقنية استخدمها <R. پيستون> وزملاؤه [من جامعة كولورادو في بولدر] في عام 2013 لرؤية ما يوجد في داخل مادة معتمة. وقد يكون من الممكن مزاوجة هذه الطرائق بتقنيات بصرية أخرى، بما في ذلك التقنيات التي يستخدمها علماء الفلك لتصحيح تشوهات الصور الناجمة عن تأثير الغلاف الجوي في ضوء النجوم. أما ما يسمى **علم البصريات الحاسوبي**[2]، فيمكنه أن يساعد على تظهير الوهج المتألق المنبعث من الأصابغ التي تضيء عندما تنقدح نورونات تحت السطح.

وقد تم بالفعل استخدام بعض هذه التقنيات البصرية الجديدة بنجاح لتصوير الامتدادات الداخلية لأدمغة الحيوانات أو الإنسان، حيث تمكن العلماء من خلال استئصال قطعة من الجمجمة من رؤية جزء من القشرة بعمق تجاوز ميلي متر واحد. وقد يفضي إدخال مزيد من التحسينات على هذه التقنيات إلى توفير الفرصة لإيجاد طريقة تمكننا من الرؤية عبر سمك الجمجمة. ولكن **التصوير الضوئي بالرؤية الاختراقية**[3] لن يكون بوسعه التغلغل إلى مسافات تمكنه من اكتشاف البنى العميقة في الدماغ. بيد أن هناك اختراعا حديثا آخر قد يساعد على معالجة هذه المشكلة. فالتقنية التي يطلق عليها اسم **تنظير ميكروي** microendoscopy هي تقنية يستخدمها اختصاصيو الأشعة العصبية حاليا، حيث يدخلون أنبوبا رفيعا مرنا إلى الشريان الفخدي ثم يدبرونه للوصول إلى مناطق عدة من الجسم، بما في ذلك الدماغ، الأمر الذي يسمح بعد ذلك بإدخال مسابير ضوئية مجهرية إلى الأنبوب المذكور لتقوم بعملها. وفي عام 2010 قام فريق من معهد كارولينسكا في ستوكهولم بعرض ما يسمى «**إكستروديوسر**» extroducer، وهو جهاز يسمح للشريان أو الوعاء الدموي الذي أدخل إليه المنظار بأن ينثقب بأمان، الأمر الذي يفتح الطريق أمام شتى تقنيات التصوير أو تقنيات التسجيل الكهربائي للوصول إلى أي جزء من الدماغ ومعاينته، وليس إلى الأوعية الدموية فقط.

وتعد الإلكترونات والفوتونات من أكثر الجسيمات ملاءمة لتسجيل نشاط الدماغ، ومع ذلك فهي ليست الوحيدة. إذ إن **تقانة الدنا** DNA technology يمكنها أن تؤدي دورا حاسما في رصد النشاط العصبي في المستقبل البعيد. وقد استلهم ذلك أحدنا (<تشيرش>) من **حقل البيولوجيا التخليقية** synthetic biology، حيث يتم العمل بالمواد البيولوجية كما لو كانت قطع غيار آلية. وبتقدم البحث العلمي قد يصبح من الممكن هندسة حيوانات المختبر جينيا لتخليق **الشريط الجزيئي المسجل** molecular ticker tape وهو جزيء يتغير بطرق محددة قابلة للكشف عندما ينشط نورون ما. وفي أحد السيناريوهات، تتم صناعة الشريط هذا من إنزيم **بوليميراز الدنا** DNA polymerase الذي يبدأ انطلاقته الأولى عبر تركيب متواصل لضفيرة طويلة من الدنا التي يتم ربطها بضفيرة أخرى مؤلفة من متوالية محددة بشكل مسبق من **النيوكليوتيدات** nucleotides (وهي الرسائل التي تشكل اللبنات في بناء الدنا). أما في المرحلة التي تلي ذلك، فمن شأن تدفق أيونات الكالسيوم نتيجة للقدح النوروني، أن يحفز البوليميراز على إنتاج متوالية مختلفة من النيوكليوتيدات، أي باختصار يتسبب هذا الأمر في وقوع «أخطاء» في الموقع المرتقب للنيوكليوتيدات. وقد يتم في وقت لاحق ومن أي نورون من نورونات دماغ حيوان التجربة **سَلْسَلة** sequencing ضفيرة النيوكليوتيدات المزدوجة التي نتجت. ومن شأن

(*) GOING DEEP

(1) computer chip؛ أو شريحة حاسوب.

(2) computational optics

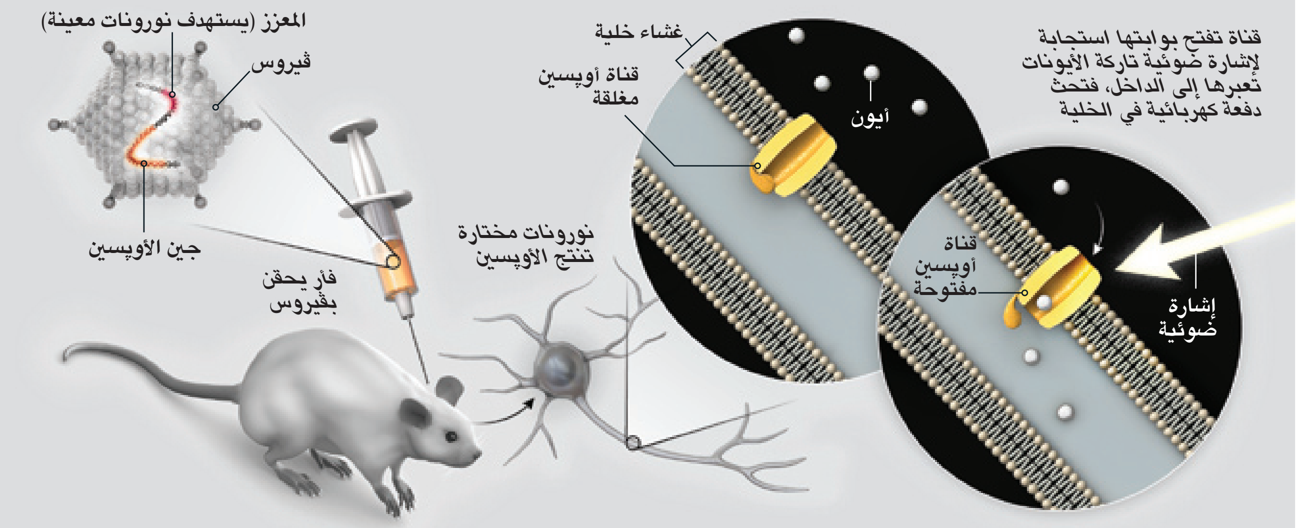
(3) see-through optical imaging

تركيب بدالة عصبية ضوئية(*)

تتزايد رغبة علماء الجهاز العصبي في الذهاب إلى أبعد من رصد التيارات الكهربائية التي تتدفق عبر الدارات العصبية. فهم يريدون تشغيل الدارات الفردية وإيقافها عن العمل حسب الرغبة كي يتمكنوا من التوصل إلى التحكم في أشكال معينة من نشاط الدماغ. وقد يأتي اليوم الذي تتمكن فيه هذه التقانات الوليدة - اثنتان منها تعتمدان على الإشارات الضوئية (في الأسفل) - من كبح جماح النوبات الصرعية أو الارتعاشات الپاركنسونية.

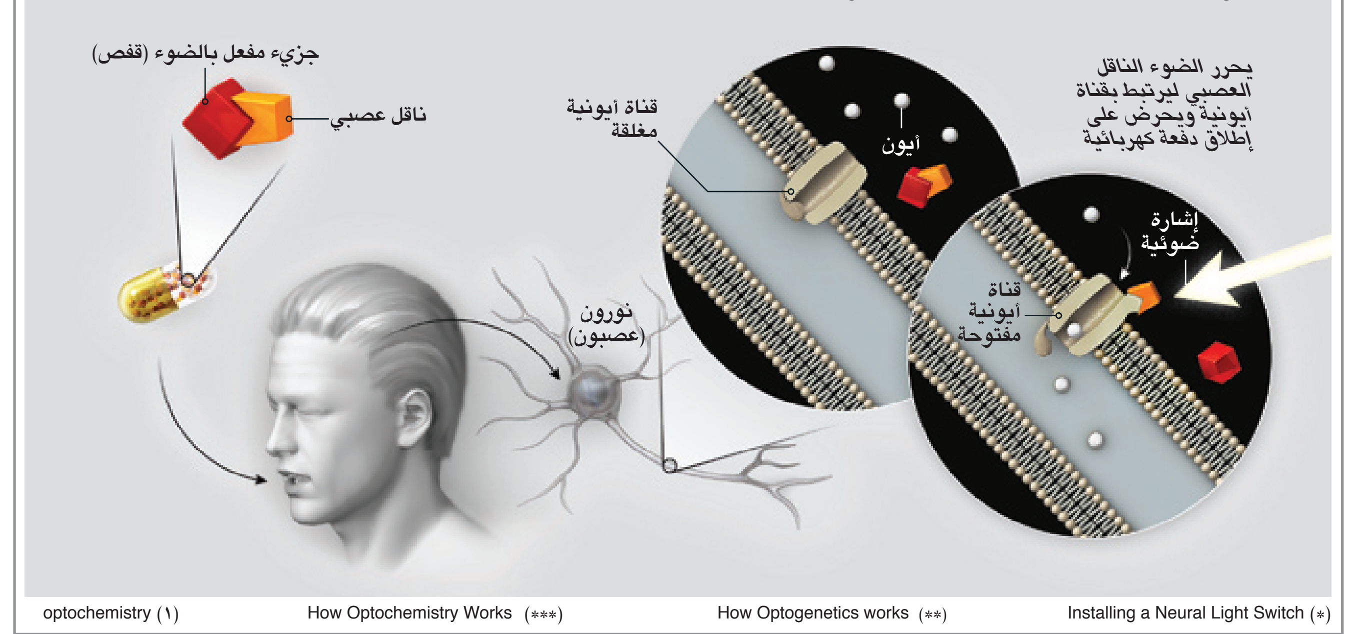
كيف يعمل علم الوراثة البصري(**)

تقنية الوراثيات البصرية، كما يوحي اسمها، هي توليفة من الإشارات الضوئية والهندسة الوراثية لتنشيط إحدى الدارات الدماغية في الحيوان الحي. يتم أولا وضع جين مولد لبروتين حساس للضوء اسمه أوپسين opsin داخل أحد الفيروسات. وبعد حقن الحيوان بهذا الفيروس، يقوم هذا الأخير بنقل الجين إلى النورونات. وتحوي المادة الجينية المحقونة معززا promoter من الدنا يضمن ألا يتم تركيب الأوپسين سوى في نورونات معينة. وما أن تقوم النورونات بتركيب الأوپسين - وهو قناة أيونية - حتى تغرسه في أغشيتها السطحية. وبفعل إشارة مرسلة من ليف ضوئي يقع داخل جمجمة الفأر تفتح هذه القناة بوابتها، فتدخل أيونات مشحونة إلى النورون وتولد تيارا في داخله.



كيف تعمل الكيمياء البصرية(***)

تقنية بديلة تعرف باسم الكيمياء البصرية[1] تغنينا عن الهندسة الجينية المرهقة. وبفضل هذه التقنية سوف يعطى المريض قرصا حاويا جزيئا منشطا ضوئيا عن طريق الفم - يسمى القفص cage - مربوطا بناقل عصبي ناظم لنشاط نورون. وبعد ابتلاع المريض لهذا القرص ووصول محتواه إلى الدماغ يرسل نبضة ضوئية من منظار داخلي، أو من مصدر يقع خارج الجمجمة، فيتحرر الناقل العصبي ويرتبط بقناة على سطح الخلية؛ فيفتحها مما يسمح بدخول الأيونات، وسوف تقوم هذه الأيونات عندئذ بقدح النورون الذي يرسل دفعة كهربائية تدخل إلى الخلية.



(*) Installing a Neural Light Switch
(**) How Optogenetics works
(***) How Optochemistry Works
(1) optochemistry

تقنيـــة مبتكـــرة تســـمى **السلسـلة التآلقية فـي الموقع الأصلـي**[1] أن تســـفر عن ســـجل يتضمن نماذج مختلفة من التغيـــرات - أي «الأخطاء» في الشـــريط المســـجل الأصلي تتوافق مع قوة أو توقيت كل من النورونات الموجودة في حجم معين من النســـيج. وفي عام 2012 أخبرنا مختبر ‹تشيرش› عن قابلية تنفيذ هذه الفكرة باســـتخدام شريط الدنا المسجل الذي تغير بفعل أيونات المغنزيوم والمنغنيز والكالسيوم.

تتطلع البيولوجيـــا التخليقية إلى تطوير خلايا اصطناعية تقـــوم بعمل حراس بيولوجيين يقومون بدوريات في الجســـم البشـــري؛ إذ يمكن للخلية المعدلة جينيا أن تستعمل إلكترودا بيولوجيـــا وبقطـــر أصغر بكثيـــر من ثخن الشـــعرة، يوضع بالقرب من أحد النورونات لاستكشـــاف قدحه. وبذلك يصبح بإمكاننا تســـجيل هذا النموذج من القدح بفضل دارة نانونية الحجـــم يتم دمجها في داخل الخليـــة الاصطناعية - ويمكن لـ«**غبـار إلكترونـي**»[2] أن ينقل ما تم تجميعه من بيانات إلى جهاز حاسوب في مكان قريب بواسطة وصلة لاسلكية. وهذه الأجهـــزة النانونية الحجم التي هي هجـــين مكون من أجزاء إلكترونيـــة وأخـــرى بيولوجية يمكن تقويتها بواســـطة جهاز إرســـال خارجي للموجات فوق الصوتيـــة، أو تقويتها حتى من داخل الخلية باســـتخدام الغلوكوز أو الأدينوسين الثلاثي الفوسفات أو غيرهما من الجزيئات.

تبديل بين مفتاحي التشغيل أو الإيقاف(*)

لفهم ما يحدث في شبكة الدماغ الواسعة التي تشكلها منظومة كاملة من الدارات العصبية، فعلى الباحثين أن يقوموا بأكثر من مجرد التقاط الصور؛ فعليهم، مثلا، القيام بتشغيل مجموعات مختـــارة من النورونات أو إيقافها عن العمل حين يشـــاؤون، وذلـــك لاختبار وظائف هذه الخلايـــا، فعلم **الوراثة البصري** optogenetics هـــو تقنية اعتمدها علماء الجهاز العصبي على نطاق واسع في الســـنوات الأخيرة، حيث تستخدم حيوانات مهندســـة جينيا بطريقة تمكن نوروناتهـــا من إنتاج بروتينات حساسة للضوء مســـتمدة من البكتيريا أو الطحالب. فعندما تتعرض هـــذه البروتينات لموجات ضوئية بطول معين، تصلها عبر ليف بصـــري، فإنها تدفع النورونات إمـــا إلى العمل أو التوقف عنه. وقد طبق الباحثون هذه التقنية لتنشـــيط دارات عصبية معروفة بانخراطها في الاســـتجابة للمتعة وغيرها من اســـتجابات المكافأة، وانخراطها أيضا فـــي اختلال الحركة الذي يميز داء پاركنســـون. وقد اســـتخدمها الباحثون أيضا حتى في غرس ذكريات كاذبة عند الفئران.

إن حاجة الوراثيات البصرية إلى الهندســـة الجينية تعني أنها قد تتطلب بروتوكولات مطولة للموافقة عليها قبل التمكن من اختبارها أو استخدامها كطريقة علاجية عند البشر. وقد تبين أن هناك بديلا عمليا أفضـــل لبعض التطبيقات، ويتمثل هـــذا البديل بربط نواقل عصبية، وهي مـــواد كيميائية ناظمة لنشـــاط النورونات، بمادة كيميائية حساســـة للضوء تسمى **القفـص** cage، ومـــا أن يتعـــرض هذا القفـــص للضوء حتى يتفـــكك، فتنطلق المادة الكيميائية من داخله وتصبح ناشـــطة. وفي عـــام 2012 أجرى ‹S. روثمان› [من جامعة مينيســـوتا] بالتعاون مع مختبر ‹يوست›، دراسة قام فيها بوضع أقفاص من **الروثينيوم** موصولة بـ **گابا** (GABA)[3] وهو ناقل عصبي يحدُّ النشاط العصبي على القشرة الدماغية المكشوفة لجرذان مهيأة كيميائيا لتوليد نوبات صرع. وتســـليط نبضة من ضوء أزرق على الدماغ يُحرر گابا، وبذا يتم إبطال الصرع. وهناك طرائق **كيميائية بصرية** optochemical مشـــابهة تُســـتخدم لاختبار وظيفة دارات عصبية محددة. وهي طرائق، إن استمر تطويرهـــا، قد تصبـــح صالحة لمعالجة بعـــض الاضطرابات العصبية أو العقلية عند البشر.

ولاتزال هناك مســـافة كبيرة تفصل البحوث الأساســـية عن تطبيقاتهـــا الســـريرية. إذ إن أي فكرة جديـــدة تتناول **القياس الكبيـر** the large-scale measurement، أو تتناول تشغيل النشاط العصبـــي، لابد من اختبارها أولا على ذبـــاب الفاكهة والديدان المـــدورة والقـــوارض قبل اختبارهـــا على البشـــر. وقد يتمكن الباحثـــون، إذا مـــا كثفوا جهودهم، من تصويـــر عدد كبير من الـ 000 100 نورون الكائنـــة في دماغ ذبابة الفاكهة خلال خمس ســـنوات. أما الأدوات القـــادرة على التقاط النشـــاط العصبي وتغييـــره في دماغ الفأر وهو بحالة اليقظة، فتحتاج إلى مدة قد تصل إلى عشـــر سنوات. وإن بعض التقانات، مثل الإلكترودات الدقيقة الخاصة بإصلاح الخلل الوظيفي في الدارات العصبية عند مرضى الاكتئاب أو الصرع، قد يجد طريقه إلى الاستعمال الطبي في الســـنوات القليلة القادمة، بينما سيســـتغرق بعضه الآخر عشر سنوات أو أكثر.

ومع تصاعد تطوير التقانات العصبية سيحتاج الباحثون إلى طرائق محســـنة لتنظيم كم هائل مـــن البيانات وتبادلها. فتصوير نشـــاط النورونات جميعها في القشرة الدماغية لفأر لمدة ســـاعة واحدة، مثلا، قد ينتج منـــه 300 **تيرابايت**[4] من البيانات المضغوطة. ومع ذلك، فإن هذه المشكلة ليست عصية

(*) TOGGLING ON OR OFF SWITCHES
(١) fluorescent in situ sequencing
(٢) electronic dust
(٣) اختصارا لـ«غاما أمينو حمض البوتريك» gamma aminobutyric acid
(٤) terabyte

على الحل. فوسائل البحث المتقدمة الشبيهة بالمراصد الفلكية ومراكز أبحاث الجينوم ومسرعات الجسيمات يمكنها استيعاب هذا الكم الهائل من البيانات الرقمية ودمجها وتوزيعها. وكما أفرز مشـــروع الجينوم البشري ميدان المعلوماتية البيولوجية للتغلب على مصاعب سَلْسَـلة البيانات، فإن الفرع الأكاديمي لعلــم المعلوماتية البيولوجية، قد يصبح قـــادرا على فك كود الطريقة التي يعمل بها الجهاز العصبي كلِّه.

وإن التمكن مـــن تحليل بيانات من حجـــم **البيتابايتات** petabytes سوف تكون له تداعيات لا تتمثل فقط بمعالجة هذا الفيــض الهائل من المعلومات الجديــدة، بل أيضا في وضع أســس نظريات جديدة حول الكيفية التي تتم بها ترجمة هذه القــدوح العصبيــة المتضادة إلى إدراك وتعلــم وذاكرة. وقد يســهم تحليل البيانات العملاقة أيضا فــي تأكيد أو دحض نظريات لم يكــن اختبارها ممكنا من قبل. ومن بين النظريات المثيرة للاهتمام نظرية تفترض أن النورونات الكثيرة المشاركة في نشاط دارة عصبية ما تقوم بتطوير **متواليات** sequences قدح معينة تعرف باسم **الجذابات** attractors ينتج منها حالات الدمـــاغ البارزة، مثــل فكرة أو ذاكرة أو قـــرار. وفي إحدى الدراسات الحديثة، كان على الفأر اتخاذ قرار يتعلق باجتياز هذا الجزء أو ذاك من متاهة مســقطة على شاشة. وقد ترافق هذا الفعل بتشــغيل العشـــرات من النورونـــات التي أظهرت تغيرات ديناميكية شبيهة بالجذاب في نشاطها.

إن فهــم الدارات العصبية على نحو أفضل من شـــأنه أن يعزز قدرتنا على تشـــخيص أمراض الدمـــاغ وتعميق فهمنا لأســـبابها، بدءا بألزهايمر ووصولا إلى التوحد. فبدلا من أن يكتفي الأطباء بتشخيص هذه الحالات ومعالجتها على أساس الأعراض وحدها، ســـوف يكون بوســـعهم إدخـــال تعديلات نوعية على نشـــاط دارات عصبية معينة تبين أنها تكمن وراء هذا الاضطراب أو ذاك، ثم تقديم المعالجات اللازمة لتصحيح تلك الشــذوذات. ويمكن القول اســتطرادا إن الإحاطة علما بجذور المرض غالبا ما تتسنى ترجمتها إلى منافع اقتصادية يستفيد منها الطب والتقانات البيولوجية. ويجب أخذ قضايا الأخلاقيـــات الطبيـــة والقانونية في الاعتبـــار كما حصل في مشروع الجينوم، لاســيما إذا كانت هذه الأبحاث تؤدي إلى القدرة على التمييز أو إحداث تغيير في الحالات العقلية، وهي عواقب من شأنها أن تســتدعي اتخاذ إجراءات دقيقة بشأن موافقة المريض وحماية خصوصيته.

غير أن تحقيــق النجاح في مبـــادرات الدماغ المختلفة، يســـتوجب اســـتمرار العلماء ومن يدعمهم بالتركيز بعناية علـــى الهدف مـــن تصويـــر مجموعـــة الـــدارات العصبية ورصدها. فالفكرة التي تقـــوم عليها مبادرة الدماغ تطورت إثر مقال نشـــر في مجلة نورون Neuron في الشهر 2012/6. إذ اقترحنـــا وزملاؤنا في ذلك المقـــال إقامة علاقات تعاون مشـــتركة طويلة الأمد بين اختصاصيـــي الفيزياء والكيمياء وعلم النانو والبيولوجيـــا الجزيئية والعلوم العصبية لوضع **خريطة نشاط الدماغ** brain activity map تستمد عناصرها من تطبيق تقانـــات لقياس النشـــاط الكهربائي ورصده في دارات الدماغ جميعها.

ومع تطور مشـــروع الدماغ الطموح، لايسعنا إلا أن نحث علـــى ضرورة الحفاظ على ما ركزنا عليه أصلا، ألا وهو بناء الأداة. فمجال بحوث الدماغ واســـع جـــدا، ومبادرة الدماغ يمكن أن تنحرف بسهولة وتتحول إلى قائمة بخلطة الاهتمامات الخاصـــة لمجموعة كبيرة من الاختصاصـــات الفرعية للعلوم العصبية، الأمـــر الذي يعني أن هذا المشـــروع قد يؤول إلى مجرد فعالية مكملة لما ســـبق تأسيسه من مشاريع تعمل على تنفيذها مجموعة كبيرة من المختبرات الفردية كل على حدة.

وإذا حصل ذلك، فسوف يكون التقدم عشوائيا، وقد يصبح مـــن غير الممكن مواجهـــة التحديات التقنيـــة الكبرى. ونحن بحاجة إلى التعاون الفعلي بين مختلف الفروع الأكاديمية. إذ لايمكننا بناء أدوات قادرة على تصوير قلطية ملايين النورونات في ســـائر مناطق الدماغ بصورة متزامنة إلا من خلال جهد متواصـــل يبذله فريق بحثي ضخم متعـــدد الاختصاصات. وحينئـــذ يتمكن هـــذا الفريق من تقديم التقانـــة اللازمة على نطاق واسع – منشأة مشـــتركة لمنظمة العلوم العصبية على طراز المرصد الفلكي. ونحن نُصرُّ على الاســـتمرار بالتركيز على تطوير تقانة جديدة قادرة على تسجيل ورصد وفك كود الموجات الكهربائية **الحسكية** spikes التي تشكل لغة الدماغ. وإننـــا نعتقد أنه من دون هذه الأدوات الجديدة فلن يتســـنى للعلوم العصبية الخروج من عنق الزجاجة، وســـوف تفشـــل في الكشـــف عن خصائص الدماغ البارزة التي يقوم عليها افتراضيـــا عدد لانهائـــي من أنماط الســـلوك. ويبقى تعزيز القدرة على فهم واستثمار لغة الموجات الحسكية والنورونات الوســـيلةَ الأجدى لاستنتاج نظرية شـــاملة عن الكيفية التي تعمل بها أعقد آلة في الطبيعة. ■

مراجع للاستزادة

The Brain Activity Map Project and the Challenge of Functional Connectomics. A. Paul Alivasatos et al. in *Neuron*, Vol. 74, No. 6, pages 970–974; June 21, 2012.

The NIH Brain Initiative. Thomas R. Insel et al. in *Science*, Vol. 340, pages 687–688; May 10, 2013.

***Scientific American*, March 2014**

مُحرِّك الذاكرة(*)

حتى بعد وفاته، مازال المشهور بفقدان ذاكرته ‹H. M.› يغير جذريا فهمنا لعمل الذاكرة وكيفية المحافظة عليها مع تقدمنا في العمر.

‹D. G. ماكي›

أتذكــر لقاء ‹H. M.› في ربيع عام 1967، لعله كان في عُمر الأربعين وكنت أصغر منه بسـتة عشــر عاما. فقد أحضره أستاذي ‹L.-H. توبر› إلى مكتبي الصغير عبر مكتبة قسم علم النفس في معهد ماساتشوســتس للتقانة (M.I.T.)[1]. وأتذكر، إلى حد ما، وجهه النحيل المبتســم والمشــرق عندما كان يمر عبر المدخل الضيق برفقة ‹توبر› الذي عرَّفنا ببعض كـ ‹دون› و‹هنــري› وكأننا ســنصبح أصدقاء. وأظــن أنني خاطبت ‹هنري› «ســيدي» ونحن نتصافح لأنــه كان حائزاً قدراً من الشــهرة في المعهد .M.I.T. لقد طمأن ‹توبــر› ‹هنري› بأنه سيســتمتع بالمشــاركة في تجربتي حول فهم الجمل، الأمر الذي كان يتقنه ثم اعتذر وخرج.

لــم يخطر ببالي مطلقــا، ونحن نصعد الــدرج إلى غرفة الاختبــار، بأن هــذا الرجل الهادئ ســيصبح مركز أبحاثي لنصف قرن. فقد فتحت الباب وأجلســت ‹هنري› على مقعد خشبي مواجها مقعدي، وأشــعة الشمس تتخلل الغرفة عبر نوافذ كبيرة على يميني. وكانت أمامي ســاعتا توقيت ورزمة من 32 بطاقة مفهرَســة أبجديا بحجم 5x3 تحتوي على جمل

(*) The Engine of Memory
(1) the Massachusetts Institute of Technology

إذا قرِعَ الباب واضطررت إلى الخروج، فأنت بحاجة عند عودتك إلى أن تقدم نفسك مجددا لـ‹هنري› شارحا له المهمة المكلف بها.

قصيرة مطبوعة. فقد قمت بتشغيل جهاز التسجيل وبدأت بما ظننت أنه لن يكون أكثر من اختبار روتيني.

منذ عام 1967 أصبح الحرفان الأولان (.H .M) من اسم ‹هنري› من أكثر الحروف شهرة في تاريخ علوم الدماغ. (لم يعرف الناس اسمه الكامل: ‹.H موليسون›[1] إلا بعد وفاته عام 2008). وبدأ ‹هنري› شهرته قبل 13 عاما عندما كان في السابعة والعشرين، عندما استأصل أحد جراحي الأعصاب جزءا صغيرا من دماغه الأوسط والمعروف **بمنطقة تلفيف الحصين**[٢]. وأدى هذا الاستئصال إلى إقصاء تهديد الصرع لحياته إلى درجة كبيرة ولكنه حمل معه تأثيرا مزعجا غير مقصود صاحبَه طيلةَ حياته، حيث لم يعد باستطاعته تعلم معلومة جديدة بشكل طبيعي، الأمر الذي أحدث ثورة في دراسة الذاكرة والدماغ.

إن دراسة ‹هنري› ساعدت آخرين قبلي على إيضاح دور منطقة تلفيف الحصين في تكوين ذكريات مركبة جديدة، والتجارب الشخصية المعاشة. إن بحثي مع ‹هنري› أظهر أن منطقة تلفيف الحصين تساعد أيضا على الاحتفاظ بذكرياتنا الموجودة وترسيخها عن طريق تجديدها. ومن دون هذا التجديد، فإننا سننسى وإلى الأبد.

أدت هذه الفكرة إلى التخلص من مفهوم تراجع الذاكرة بآلية مجهولة لا رحمة فيها. إن الآلية التي تجعلنا نعيش ذكرياتنا القديمة يبدو أنها تخفف من صعوبات التذكر التي تحدث مع التقدم الطبيعي في العمر. فعوضا عن ترك أجزاء ماضينا تنجرف ببساطة مع الزمن، فإن الدماغ يبقى معنياً وبشكل فعَّال بترميم الذكريات المتآكلة. إن هذه المعلومات الدقيقة وجدت الحل للغز عمره مئة عام في أبحاث علم النفس حول النسيان. وحتى الآن، لم يستطع أحد أن يفهم بوضوح لماذا يكون الأشخاص المصابون بالنسيان، والذين هم بالتعريف يعانون صعوبات في اكتساب المعلومات التي تصادفهم بعد أذية الدماغ، عادة لديهم صعوبات في تذكر المعلومات التي تعلموها لسنوات عديدة قبل الأذية الدماغية.

«من أنتَ؟»(*)

وفي فيلم Overboard (سقوط من المركب إلى البحر) الذي عُرِضَ عام 1987، قامت الممثلة ‹.G هاون› بدور سيدة من نجوم المجتمع ارتطمَ رأسها فتسقط من فوق مركبها إلى البحر فتصاب بفقد الذاكرة التام لدرجة فقدانها هويَّتها. وحبكة الأفلام التي تتسبب في النسيان غالبا ما تستحضر مشاهد درامية، حيث تمحى الذكريات حالا من حياة الممثل الماضية، ولكن بطل القصة يبقى قادرا على تكوين ذكريات للوقائع والتجارب الجديدة. وهذه الحالات ليست إلا مجرد روايات خيالية. إن الأشخاص المصابين حقيقة بالنسيان لديهم صعوبات في اكتساب معلومات جديدة، ولكنهم (باستثناء حالات من مرض ألزهايمر) لا يفقدون ذكريات ماضيهم كاملة، سواء كان ذلك بسبب أذية الدماغ أو ارتجاج الدماغ أو التسمم الكحولي أو الإنتان بالحمَّات الراشحة.

في عام 1953 فَقَدَ ‹هنري› ذاكرته بعد الجراحة التي خضع لها، حيث تم استئصال المكونات المركزية لبناء الذاكرة. وقدرته على تذكر تجارب جديدة أصابها ضرر بالغ. وبعد برهة وجيزة تمحى ذكرياته الأكثر هشاشة للأحداث الجديدة (ذكرياته العرضية أو العابرة). فإذا قرِع الباب أثناء قيامك بالاختبار واضطررت إلى المغادرة ولو إلى دقيقة واحدة، فعند عودتك قد يسألك ‹هنري›: «من أنت؟» عندئذ يتعين عليك تقديم نفسك وأن تشرح له مجددا المهمة التي يتعين عليه متابعتها.

لم يكن ‹هنري› قادرا على تكوين انطباعات ذهنية للتجارب

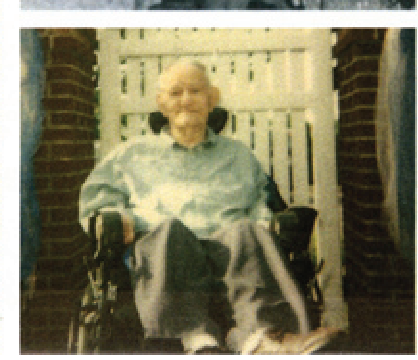
(*) "Who Are You?"
(١) Henry Molaison
(٢) the hippocampal region

حقائق سريعة

ترميم الذاكرة

1. يعاني المصابون بالنسيان صعوبةَ تعلم معلومة جديدة، لكنهم (باستثناء حالات من مرض ألزهايمر) لا يفقدون كل شيء تعلموه في الماضي.
2. تتدهور **الاتصالات المشبكية** synaptic connections في **القشر الحديث** the neocortex للدماغ مع التقدم في السن. ومن ثمّ، فإن المعلومات المخزنة فيه تذبل تدريجيا وتتبعثر. والذكريات الأكثر تضررا هي الذكريات القليلة التداول.
3. توحي آخر البيانات المتاحة عن فاقد الذاكرة المشهور ‹.H .M›، بأن إحدى أهم وظائف **تلفيف الحصين** the hippocampus في الدماغ تتمثل بنقل الذكريات الجديدة لتحل مكان الذكريات المتدهورة عبر السنين.




خضع <H. موليسون> في سن 27، والمعروف لدى العامة حتى وفاته عام 2008 بلقب <H. M.>، لاستئصال التشكلات الدماغية التي تحرك الذاكرة. وكنتيجة، لم يعد في مقدوره تذكر تجارب جديدة بطريقة طبيعية. ومع تقدمه في السن، تدهورت ذكرياته السابقة بسرعة غير معتادة، إذ بدأ فريق عمل بحل اللغز. باتجاه عقارب الساعة من اليسار إلى اليمين: <H. M.> في المدرسة الثانوية، في مطلع الثلاثين من عمره، في حوالي الخمسين من عمره، وفي عمر الستين، وكرجل عجوز.

العابرة ويحتفظ بها. ولتوثيق عجز كهذا في الذاكرة، رسخ أستاذي وآخرون الدور الحاسم لمنطقة تلفيف الحصين في تكوين ذكريات جديدة طويلة الأمد. مع أن ذاكرة <هنري> للأحداث والوقائع المتعلمة قبل إصابته بدت طبيعية تماما في البداية. لقد لفظ الكلمات اليومية بطلاقة، يسأل بسهولة فمثلا: «هل التقينا من قبل؟» وكان يجيب عن الأسئلة بوضوح حول أمكنة دراسته الثانوية ومكان ولادته.

في ستينات القرن الماضي اقترح الاختصاصي في علم النفس <W. ويكيلگرن> [من المعهد M.I.T.] بأن منطقة تلفيف الحصين تسهل تشكيلَ ذكريات دائمة في القشرة الخارجية للدماغ (القشر الحديث). وتأخذ تلك الذكريات القشرية شكل ارتباطات قوية بين العصبونات. وهكذا يشبه القشر الحديث مستودعا، بينما يعمل تلفيف الحصين كبانٍ للذكريات، سواء كانت ذكريات عرضية عابرة كذاكرتي عن لقاء <هنري> أم ذكريات واقعية[1] كمعنى كلمة ما. فهذه الفكرة المنبثقة بعد درجة كبيرة من العمل مع <هنري> جاءت كإعادة نظر جذرية في طريقة التفكير السابقة. سابقا كان الباحثون يعتقدون أن منطقة تلفيف الحصين هي المستودع المباشر للذكريات. وبما أن منطقة **القشر الحديث** neocortex كانت سليمة؛ لذا بدا منطقيا أن تكون ذاكرته للكلمات التي تَمَّ تخزينها قبل عمليته الجراحية سليمة.

لذلك، وفي يوم مقابلتي لـ<هنري> افترضت بأنه سينجز جيدا اختبار فهم الجمل. فقد أعطيته التعليمات لقراءة 32 جملة مبهمة. فعلى سبيل المثال، إن جملة: «I just don't feel like pleasing salesmen» والتي تعني إما «أنا لا أريد إرضاء الباعة» أو «أنا لا أريد الباعة اللطفاء حَوْلي». لقد كانت مهمة <هنري> أن يعثر ويصف كلا المعنيين لكل جملة وبأسرع ما يمكن.

لقد اكتشف <هنري> كلا المعنيين فقط لـ20% من تلك الجمل، بينما تمكن طلبة جامعة هارڤارد من العثور على جميع المعاني المبهمة. لم يجد طلبة جامعة هارڤارد أي صعوبة في تمييز أي التباس. كما أن <هنري> استغرق عشرة أضعاف الوقت الذي استغرقه طلبة الكلية – أكثر من 49 ثانية في المتوسط – كي يبدأ توصيفه. كما أن توصيف <هنري> عموما لم يكن كاملا، غير دقيق ويصعب فهمه. وعلى سبيل المثال، في إحدى المراحل شرح <هنري> كلا المعنيين لعبارة «I just don't feel like pleasing salesmen» كالتالي: «الشخص لا يحب الباعة الذين يتوددون إليه. آهٍ، وأنه شخصيا غير معجب بهم، و وهو شخصيا غير معجب بهم، وعندئذ أفكر في جملة كان يمكن له أن يقولها إنه نفسه، هو لا، آهٍ، ودود، باعتباره conglamo،

(١) أو: دلالية

في عمر الأربعين، بدا ‹هنري› أصغر بكثير من أن يعاني صعوبات في العثور على الكلمات، لكن وبوضوح فإن شيئا ما كان يحدث لذاكرته للمفردات اللغوية.

من بين كل الباعة الودودين.»

في تلك الأثناء لم أعرف ماذا أعمل بتلك الملاحظات. فمجموعة من الأسئلة الباعثة على الاضطراب جالت في خاطري، ولم أنظمها وأتعامل معها إلا لاحقا. فلماذا كان ‹هنري› يعاني صعوبات في فهم جمل الاختبار؟ فمنذ عام 1874 اعتقد أطباء الأعصاب أن منطقة من قشر الدماغ والمعروفة حاليا **بمنطقة فيرنيك**[1] مسؤولة عن فهم الجمل. إن القشر الحديث عند ‹هنري› سليم لم يصبه أذى، وإن عدم فهمه شوَّشني لأن **منطقة بروكا** Broca's area والواقعة في منطقة أخرى من القشر الحديث كان يعتقد بأنها الأساس لإنشاء الجمل من الناحية النحوية. وما الذي عناه ‹هنري› بكلمة «conglamo» – هل هو conglomeration: خليط أو مزيج، أم concatenation: يسلسل أو بشكل سلسلة، أم إنه خليط من كلتا الكلمتين؟

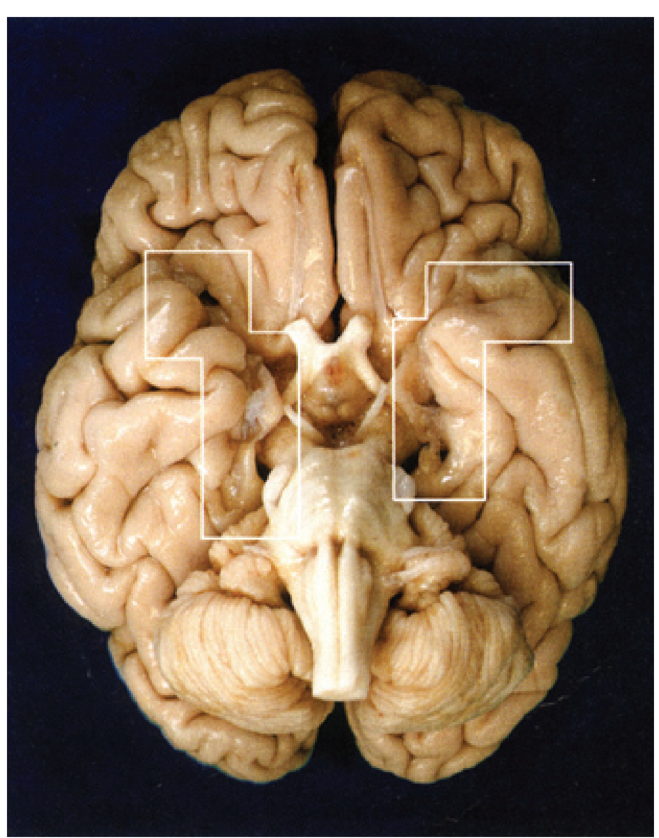
عندما كان ‹هنري› في الأربعين من العمر كان أصغر عمراً من أن يعاني صعوبات في العثور على الكلمات المناسبة، ولكن، كان واضحا أن شيئا ما يحدث لذكرياته اللغوية للكلمات، ولم تكن عندي أي فكرة عمّا يعنيه ذلك. بعد ذلك اكتشفت، وفي وقت متأخر، الصلة بين أذية منطقة تلفيف الحصين عند ‹هنري› وبين ذاكرته للكلمات التي تعلمها في مرحلة المراهقة.

نمط رباط مصنوع من النايلون[*]

بعد حصولي على درجة الدكتوراه من المعهد M.I.T. في عام 1967، أصبحت أستاذا بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس. وقد أصبح مؤكدا لديَّ بأن اللغة هي وسيلة جيدة لدراسة جوانب عديدة للذاكرة، بما فيها تأثير التقدم في العمر في قدرتنا على تذكر الكلمات المألوفة. وعلى عكس التجارب الشخصية التي تتفاوت من شخص إلى آخر، فقد تعلمنا جميعا التهجئة والمعنى والنطق نفسها للكلمات. إن التماثل في معرفة الكلمات عند البالغين الشباب سهَّل عليَّ الإقرار بما إذا كان عامل العمر مسؤولا عن اضطراب ذاكرة الكلمات عند الأكبر سنا.

ومن خلال أبحاثي ولسنوات متتالية، تمكنت من رسم الخطوط العريضة للتغيرات النوعية المرتبطة بالعمر عن كيفية تذكرنا للكلمات. ففي عام 1990، على سبيل المثال، توصلنا أنا وزملائي إلى أننا كلما تقدمنا في السنّ تراجعت قدرتنا بصورة منهجية منظمة على تذكر لفظ الكلمات المألوفة النادرة الاستعمال. ذلك أننا حين أعطينا بعض الأشخاص تعريفا مثل «نمط رباط مصنوع من النايلون»، فإن البالغين سنّ 65 فما فوق لم يتمكنوا من أن يستحضروا في أذهانهم كلمة «Velcro» بعدد المرات نفسه وبالسرعة نفسها كما استطاع البالغون من عمر 18 إلى 20 عاما. فبالنسبة إلى الأكبر عمراً بقيت الكلمة على رؤوس ألسنتهم، كانوا يعرفون معنى الكلمة، صوتها اللفظي الأول (ف) وعدد مقاطعها، إلاّ أنه لم يكن بمقدورهم استدعاء الكلمة كاملة إلى ذاكرتهم.

في عام 1998، نشر فريقي للأبحاث اكتشافا مرتبطا بما سبق، بأن المقدرة على تهجئة الكلمات المألوفة استعمالا وغير

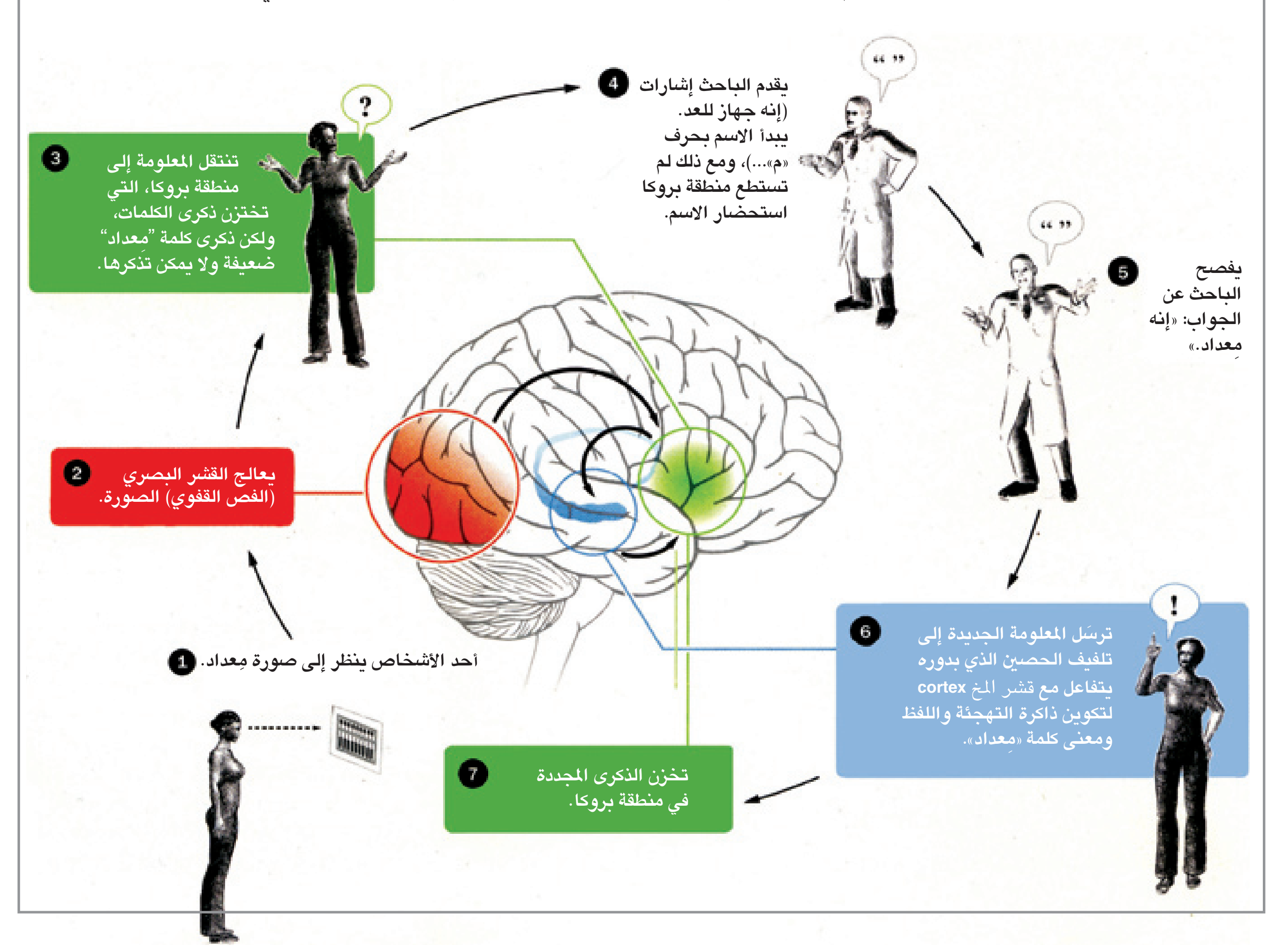


صورة دماغ فاقد الذاكرة الشهير ‹H. M.› بعد وفاته، إذ تحدد الخطوط البيضاء مناطق التلافيف الصدغية الداخلية، حيث استأصل الجراح جزءا من تلفيف الحصين، المنطقة الدماغية التي تحفظ مخزون الذاكرة على المدى البعيد.

(*) A Type of Fastener Made of Nylon
(١) Wernicke's area

كيف يتم ترميم الذاكرة(*)

إذا لم نستعمل ذكرياتنا، فإنها تتراجع تدريجيا مع مرور الزمن. ويعتقد الآن، أن تلفيف الحصين الذي يتحكم في مكونات الذاكرة، يُهندس ترميم الذكريات الذابلة كاستجابة لتجارب الحياة. فمثلا، إذا تعرض أحدنا إلى اسم شيء مثل «abacus» (مِعداد: آلة لتعليم الأطفال العد)، ولم يتمكن من تذكر هذا الاسم - الذي يتم تخزينه في منطقة بروكا، حيث تُختزن أسماء المنازل وبطاقات التعريف - عند رؤيته للمِعداد. ولكن، عند سماعه لاسم هذه الآلة، فإن تلفيف الحصين يبدأ عمله بإعادة تكوين ذكراه في منطقة بروكا.



المألوفة في طريقة كتابتها من قبيل «rhythm»، «physicist»، و«yacht»، أيضا تتراجع مع التقدم في السنّ. وقد ثبت بما لا يدع مجالا للشك في أن البالغين ستين سنة وما فوق المشاركين في تجاربنا قد ارتكبوا أخطاء في تهجئة الكلمات أكثر مما حدث مع البالغين الشباب. ومع ذلك، فإن الأشخاص الأكبر سناً كانوا يدركون أنه سبق لهم تهجئة «bicycle» (دراجة) من دون صعوبة إلا أنه لم يعد بإمكانهم أن يتذكروا فيما إذا كانت حروفها تكتب «bicycle» أم «bysicle» أم «bisykle»، حتى يصادفوها مطبوعة.

لقد أوضحت اكتشافاتنا بأن البالغين الأصحاء من السن 65 وما فوق يواجهون صعوبات ضئيلة، لكنها مؤكدة، في استعادة معلوماتهم عن مفردات اللغة التي تعلموها منذ عدة عقود، صعوبات تزداد شدة مع التقدم في السن. في البداية، قد تأتي المعلومة إلى الذهن مع بعض التأخير، ولكنه كلما ازدادت هشاشة الذاكرة مع مرور الزمن، يصبح استرجاع المعلومة غير ممكن. وفي الحالات الشديدة وحتى برؤية الكلمة فإنه يتعذر لفظها الصحيح وتهجئتها وكذلك معناها. (لمعرفة أي شكل للذاكرة يتراجع مع العمر وما يمكن عمله بهذا الشأن، انظر الإطار بعنوان «نبع شباب الذاكرة».)

يعتقد أننا عندما نواجه: «على رأس اللسان» وعلى «رأس القلم»، فإن خللا قد حصل في الارتباطات العصبية المعنية بالذاكرة في القشر الحديث للدماغ. كما تضعف، مع مرور الزمن، المقدرة على استحضار معرفتنا بكيفية تهجئة «rhythm» أو لفظ «Velcro» إذا كنا نادرا ما ننطق

(*) How to Restore a Memory

بخصوص السؤال، «ماذا تعني كلمة 'lentil'؟» أخبرنا ‹هنري›: «إنها كلمة مُركَّبة بطريقة ما، من 'lent' و'till'... (يعني) زمانا ومكانا لِـ»

بها أو نراها أو نسمعها. إن الاستخدام المتكرر لكلمة ما أو التعرض لها حديثا يقوي تلك الارتباطات ويحول دون النسيان. فلدى المتقدمين في العمر لا يظهر عجز في الفهم أو التهجئة أو الذكرى للكلمات التي غالبا ما يستعملونها أو يسمعونها أو يكتبونها.

شيخوخة رجل مصاب بالنسيان(*)

بينما كنت أستقصي تأثير العمر في تذكر الكلمات، راجعت أسئلتي في عام 1967 إلى ‹هنري› عن المفردات اللغوية، وبخاصة سجلا مكتوبا من 178 صفحة لمقابلات معه تم تسجيلها في عام 1970 من قبل ‹W. مارسلين-ويلسون› [زميل خريج الـM.I.T]. وقد كشف التسجيل أن ‹هنري› وفي سن 44 لاقى صعوبات غير عادية في تذكر الكلمات القليلة الاستعمال. فعوضا عن وصفه للأشخاص بأنهم «أكثر استرخاء» more relaxed، قال ‹هنري›: «إنهم أكثر ارتياحا» more eased. وعلى نحو مماثل، فإنه أشار إلى نموذج لطائرة بأنه مصنوع من «الخيزران» أو «ما يشبه الخشب»، عوضا عن استخدام «خشب البلزا»(1). وقد طاردتني آنئذ أفكار، كما لو أنني لم أر قطُّ أخطاء كهذه عند يافع. فقد بدا الأمر وكأن ذكريات ‹هنري› عن المفردات اللغوية تعاني تراجعا سابقا لأوانه.

وعندئذ خطرت لي الفكرة بأنه ربما عكست مشكلات ‹هنري› في إيجاد الكلمة المناسبة عدم قدرته على أن يتعلم معلومة كان قد نسيها تماما. وكما ظننت، أن عجزه الأساسي يكمن في عدم مقدرته على تكوين معلومة جديدة في قشرة مخه. واستنتجت بأن أذية تلفيف الحصين عند ‹هنري› ربما منعته من تخفيف التدهور المرافق للتقدم في العمر. وعدم المقدرة هذا ربما أدى إلى تحويل الصعوبات العادية والضئيلة الأهمية في استرجاع الكلمات عند البالغين الكبار إلى اضطرابات بالغة الأهمية.

حتى الآن كانت لديّ إشارات بأن ‹هنري› عانى فجوات حادة في الذاكرة. وكي يتم التحقق من أن ذاكرة ‹هنري›

نبع شباب الذاكرة(**)

يميل الدماغ، شأنه شأن بقية أعضاء الجسم، إلى التراجع مع التقدم في العمر، إلا أن العلم يقترح طرقا للحد من هذا التراجع.



أولا، ومن وجهة نظر بسيطة، لا تصاب كل مظاهر الذاكرة بالاهتراء. إن المسنين قادرون على فهم جمل تتألف من كلمات مألوفة وأن يتعلموا مجددا معلومات منسية كما لو كانوا صغارا، مع أن ذلك يتم بطريقة أبطأ. فكل أنماط السلوك، إلى حد ما، أبطأ عند المسنين مما هي عليه عند اليُفعان - اختلافٌ يقاس بجزء من الآلاف من الثانية.

بطرق أخرى، إن الوظيفة المعرفية تتحسن مع التقدم في العمر. فمثلا، يستمر محتوى المفردات بالتوسع حتى عمر الثمانين وحتى بعد ذلك. وكمسنين، إننا نستعمل وبشكل عفوي كلمات أكثر تنوعا ونسجل رقما أعلى في اختبارات المفردات.

في حين أن المسنين يواجهون صعوبات - إلى درجة ما - في تعلم استعمالات جديدة للكلمات القديمة وفي تذكر أشياء كرقم هاتف طويل جدا عند محاولة طباعته. كما أننا نتعرض لتجارب مزعجة باستذكار تهجئة الكلمات الشائعة الشاذة، ككلمة «rhythm»، وكذلك اللفظ لا سيما فيما يخص أسماء الأمكنة والناس - والتي تعلمناها منذ عقود.

تقترح الأبحاث الحديثة، بما فيها أبحاثي، بأن المسنين يمكنهم التعامل مع هذه التغيرات. ويكون المفتاح بالتعرض لها. فالانخراط في فعاليات اجتماعية يساعد على صيانة جوانب عديدة من الذاكرة اللغوية فضلا عن الجوانب الأخرى للذاكرة. فقبل مقابلة الأصدقاء، يمكننا التدرب على أسمائهم كي نتجنب مشكلات نسيانها. ويمكننا أن نحافظ على تهجئتنا ومهارة استرجاع أو تذكر الكلمات بممارسة الألعاب كالخربشة والتي بواسطتها نمارس تلك المهارات خيرا من انخراطنا في فعاليات سلبية كمشاهدة التلفاز.

يمكننا أن نمنع تدهور قدراتنا في مجال اختصاصنا - كالكلام مع الناس أو لعب الشطرنج أو العزف على البيانو - بالاستمرار بممارسة تلك الأنشطة أو الألعاب. وبوجه أعم، فإنه يمكننا الانخراط، وخلال كل مراحل العمر بالتعلم، في مجالات شتى. إذن، فإن التعلم وإعادة التعلم - يدعم ذكرياتنا القديمة - هي وسائل تجعل من تلفيف الحصين يحفظ لكل منا شبابه.

An Aging Amnesic (*)
Memory's Fountain of Youth (**)
(1) خشب البلزا = balsa: خشب أمريكي خفيف ومتين يستخدم في صناعة الطائرات والمراكب.

تماما كبنّاء يمكنه أن يبني بناء جديدا أو أن يصلح بناء تضرر، كذلك يمكن لتلفيف الحصين تشكيل ذكريات جديدة تحل محل الذكريات الهرمة.

تخبو بشكل غير اعتيادي، فإنني أحتاج إلى مقارنة معرفته بمفردات اللغة وهو في مطلع السبعين من عمره بتلك لدى أشخاص بذاكرة طبيعية يشبهون ‹هنري› في الجوانب الأخرى كلها. كما أنني أحتاج إلى توثيق تغير ذاكرة ‹هنري› للمفردات اللغوية خلال حياته. وإقامة الدليل لتدهور غير طبيعي للذاكرة ربما يفسر وللمرة الأولى لماذا ينتهي المطاف بمعظم الأشخاص الذين يعانون أذية تلفيف الحصين إلى نسيان المعلومات المكتسبة قبل تلك الأذية.

وعندما كان ‹هنري› في سن 71 و73، طلبت إلى زميلي في دراسات ما بعد الدكتوراه ‹E .L. جيمس›، وهو الآن أستاذ علم النفس في جامعة كولورادو، أن يركب الطائرة إلى بوسطن كي يختبر ذاكرة المفردات اللغوية عند ‹هنري› في المعهد M.I.T. لقد أردت تقييم قدرة ‹هنري› على تعريف الكلمات، مع أسئلة مثل «ماذا تعني كلمة «squander» (يُسرف)؟» وذلك لنرى ما إذا كان قادرا على اختيار الكلمات التي تعني «squander». كما رغبت في تقييم مقدرة ‹هنري› على تذكر أصوات الكلمات لتسمية أشياء مألوفة صورها معروضة وأن يقرأ الكلمات القليلة الاستعمال بصوت عال. أخيرا، إنه أمر مثير فيما لو تمكن ‹هنري› من تذكر التهجئة الشاذة لكلمات مثل «rhythm».

وقد أنجزت مع ‹جيمس› مجموعات من الكلمات التي استعملها ‹هنري› حكما في مطلع حياته، وارتكزت على العمر الذي تم فيه اكتساب المعرفة الطبيعية لكل كلمة وعلى أساس التسجيل الواسع للكلمات التي استعملها ‹هنري› أثناء حديثه مع ‹مارسلين-ويلسون› وعمره 44 عاما. لقد صنفنا الكلمات كعالية التداول أو كقليلة التداول معتمدين على إحصائيات كيفية استعمال الناس لها. (أنا أناقش فقط نتائجنا للكلمات القليلة التداول لأن أداء ‹هنري› حول الكلمات المألوفة كان غير مرضٍ.)

كانت جلسات الاختبار مع ‹هنري› أيسَر جزء في بحثنا. لقد قضيت أنا وزوجتي ‹M .D. بورك›، وهي أستاذة علم النفس في كلية پومونا، ومع زملائنا آنذاك، سنين عديدة في محاولة العثور على أشخاص أصحاء بسنّ 71 أو 73 يتمتعون بذاكرة عادية، ويكون مستوى تعليمهم وذكائهم وعملهم وخلفياتهم الاجتماعية والاقتصادية كلها مماثلة لحالة ‹هنري›. لقد انتقينا بعناية المرشحين لبحثنا من سجلات لما يزيد على 750 مرشحا مسجلين في قوائم المرشحين في مختبر **الإدراك المعرفي والعمر**[1] في جامعة UCLA - مشروع كليرمونت عن الذاكرة السنّ، وهم من المتقاعدين من وظائف مكتبية أو متصلة بعمل جسماني في كليات كليرمونت.

وفي نهاية المطاف، عثرنا على 26 فردا كمجموعات شاهد أو مراقبة مناسبة. وقد أدت مقارنة نتائج ‹هنري› بنتائج هؤلاء الأفراد إلى الكشف عن الضعف الهائل في ذكريات ‹هنري› للمفردات اللغوية وهو ما نشرناه (أنا وزملائي) في سلسلة من المقالات بلغت ذروتها عام 2009. وفي اختباراتنا عن معاني الكلمات، على سبيل المثال، أجاب البالغون من العمر 73 عاما الذين لم يصابوا بأذية دماغية إجابة صحيحة عن سؤال «ماذا تعني lentil (عدس)؟» لقد أجابوا أنه نوع من البقوليات كالبازلاء أو الفاصولياء. وفي المقابل أخبرنا ‹هنري› «بأن كلمة lentil هي كلمة مركَّبة من «lent» و«till»... تعني مكاناً وزماناً لِ». لقد ارتكب ‹هنري› أخطاء مدوية كثيرة كهذه وأنجز عددا قليلا من التعاريف الصحيحة مقارنة بمجموعة الشاهد، وحتى بالنسبة إلى الكلمات التي تَعامل معها بشكل مناسب عندما كان أصغر عمراً. كما أن ‹هنري› لم يستطع أن يميز وبشكل موثوق الكلمات النادرة الاستعمال عن الكلمات المزيفة أو الكاذبة مثل «frendlihood» و«quintity». وبالمقارنة، فإن مجموعة 73 عاما تعرفوا بشكل صحيح على 82% من الإجابات، كما أن ‹هنري› حقق نسبة 86% في هذا الاختبار عندما كان عمره 57 عاما.

وعندما أعطينا التعليمات للمشاركين، ليقرؤوا بصوت عال كلمات مطبوعة على بطاقات مفهرسة أبجديا، أخطأ ‹هنري› في قراءة «triage» (فحص سريع/معالجة) وقرأها كـ «triangle» (مثلث)، وأخطأ في قراءة «thimble» (كشتبان) إذ قرأها كـ«tim-...tim-BO-lee» وقرأ كلمة «pedestrian» (مشاة) كـ«ped-AYE-ee-string». لقد كانت أخطاء ‹هنري› في القراءة أكثر بكثير من أخطاء المتقدمين في العمر الذين اختبرناهم مؤخرا. وعلى ما يبدو، فإن ‹هنري› لا يتذكر كيف تلفظ الكلمات المتعددة المقاطع كالتأكيد على بعض المقاطع وأصوات الحروف الخاصة (كما هي الحال عند لفظ حرفي

(1) Cognition and Aging



إن ذكرياتنا مخزونة في قشر المخ على شكل تبدل في الارتباطات بين العصبونات (في اليسار). ومع تقدمنا في العمر، فإن هذه الارتباطات العصبية، والتي تمثل ذكرياتنا، تضعف، فننسى.

الـ e في «pedestrian»؛ فهل يلفظان طويلين أم قصيرين.)

كذلك كانت هنالك صعوبات مماثلة عند ‹هنري› في الاختبار المعروف باسم **اختبار بوسطن للتسمية**[1]. وفي هذا الاختبار، يُنتَظر من الأشخاص أن يتعرفوا على أشياء مألوفة مرسومة بالقلم. فإذا لم يستطع الشخص تذكر اسم الشيء، فإن الفاحص يساعده بنماذج صوتية – مثلا «إنه يبدأ بـ tr» ثم يتبع ذلك بسؤال يهدف إلى التحقق من معرفة الشخص للشيء ويحتوي على الكلمة نفسها، مثلا: «هل تعرف كلمة trellis (تعريشة)؟» ومع أنها أسماء كانت مألوفة لديه عندما كان أصغر سناً إلا أنه لم يعطِ إجابات صحيحة إلا لعدد قليل من الصور مقارنة بآخرين بعمره نفسه، كما أن استفادته من المساعدات الصوتية كانت أقل منهم، وارتكب أخطاء أكثر في إجاباته المتعلقة بلحن الكلام. فعلى سبيل المثال، لقد سمى ‹هنري› «snail» (حلزون) باسم «sidion»؛ مما يشير إلى تدهور شديد لذاكرة اللحن لهذه الكلمة المألوفة.

وفي اختبارنا المتعلق بالتهجئة، كان المشاركون يستمعون إلى كلمة ذات لفظ قواعدي غير منتظم مثل «bicycle»، ثم يرونها في تهجئة منقوصٌ منها أحد الحروف «bic_cle». ويطلب إليهم أن يختاروا أحد حرفين «i» أو «y» لملء الفراغ بشكل صحيح. لقد اختار ‹هنري› الحرف الصحيح في 65% من الكلمات، بينما حقق بقية المشاركين نسبة 82%؛ مما يشير إلى تآكل واسع لذاكرة ‹هنري› للكلمات المألوفة ذات التهجئة الشاذة.

ومن ثـمّ، وثقنا منحنى التدهور عند ‹هنري› بين فترة الأربعين والسبعين من عمره. وبمقارنة نتائجنا بنتائج الآخرين، علمنا بأن الذاكرة اللغوية عند ‹هنري› تدهورت بشكل كبير عبر السنين، ابتداء من أواخر الخمسين من عمره. وعلى سبيل المثال، ففي دراسة عام 1983، التي قام بها اختصاصيو علم النفس ‹J. گابريلي›، ‹N. كوهين›، ‹S. كوركين› وكانوا جميعا يعملون آنذاك في المعهد M.I.T.، ظهر لدى ‹هنري› وهو في سن 57 عجزٌ ضئيلٌ ولكنه موثوق في معرفة الكلمات القليلة الاستعمال من الكلمات الكاذبة. وفي سن 73 ظهرت لديه صعوبات أكبر بكثير في الاختبار ذاته. وعلى النسق نفسه، لم يكن لدى ‹هنري› أي صعوبة في تسمية الصور عندما كان في سن 54، ولكن دراسة ‹كوركين› في عام 1984 أظهرت بأن ‹هنري› وهو في سن 73 ارتكب أخطاء كبيرة في استبدال الكلمات مثل «compass» (بوصلة) مكان «protractor» (منقلة)، أو المراوغة مثل «ice clippers» (آلة قص الجليد) مكان «tongs» (ملقط)، أو اختراع كلمات جديدة «trake» (لا معنى لها) مكان «trellis» (تعريشة).

وفي اختبار قراءة الكلمات، ضمن في دراسة لِ‹كوركين› وطالبها خريج الدراسات العليا ‹R .B. پوستل› عام 1993، عندما كان عمر ‹هنري› 67 عاما ظهرت لديه اضطرابات بسيطة. وفي دراستنا، كانت هذه الاضطرابات للكلمات نفسها أكثر وضوحا. ففي سنّ 71 أخطأ ‹هنري› في قراءة 67% من الكلمات مقابل خسارة 9% لدى مجموعة الشاهد. وبعد سنتين فقط كان عجز ‹هنري› للكلمات نفسها أكبر مع ظهور أخطاء جديدة كنسيان بعض أجزاء الكلمة – فمثلا: «affirmation» (تأكيد) على أنها «formation» (تشكل).

(1) Boston naming test

صيانة الذاكرة(*)

ومنذ عقود يعرف علماء النفس بأن الارتباطات المِشبكية في القشر الحديث للدماغ تتأذى مع التقدم في السن، وبذلك تصبح ذكرياتنا المخزونة هناك وبشكل تدريجي أضعف ومبعثرة أيضا. والذكريات الأكثر تضررا هي التي لا نذكرها إلا نادرا. فإذا لم نفكر فيها، نراها أو نسمعها من حين إلى آخر، فإن تلك المعلومات تصبح هشة وتزداد هشاشتها كلما تقدمنا في العمر.

لقد ازدادت وبشكل تدريجي صعوبات تذكر معرفة الكلمات التي نادرا ما كان يستعملها <هنري> أو يصادفها؛ ففي الخمسين من عمره وكذلك في الستين والسبعين، كانت درجة التدهور عنده أكبر بكثير مما هي عند أقرانه من السن والخلفية أنفسهما. ومن ثم، فقد استدللنا على أن تشكلات تلفيف الحصين يجب أن تكون معنيّة بصيانة الذكريات القديمة كما في تشكلات أخرى حديثة تماما. وكما هي حال البنّاء الذي يمكنه أن يبني بناء جديدا أو أن يرمم بناء قد تضرر، هكذا يستطيع تلفيف الحصين أن ينقل الذكريات الحديثة لتحل محل الذكريات التي تضررت أو تبعثرت مع مرور الزمن.

إن إعادة البناء هذه يمكنها أن تحدث كلما واجه أحدنا كلمة منسية أو تجربة شخصية خاصة من الماضي البعيد. لذا، فإن مواجهة الذكريات والتعلم يمكنها أن تدعم ذكريات متصدعة وتقلل من معدل ضياعها. وفي حالة <هنري>، فإن هذه الصيانة من قبل تلفيف الحصين غير موجودة. ولم يكن لدى <هنري> أي وسيلة لتجديد الذكريات المتصدعة من خلال التجارب أو التعلم مجددا - الأمر الذي يسرع من تدهور ذاكرته.

ولدعم هذه النظرية، أردنا أن نحدد فيما إذا كان الآخرون الذين يعانون النسيانَ مع أذية تلفيف الحصين، يصابون في النهاية بتراجع مبالغ فيه أو سريع لذكرياتهم للمعلومات القليلة التداول. كما أردنا أن نعرف فيما إذا كان المسنون الأصحاء قادرين على إعادة تشكيل ذكريات جديدة عوضا عن أخرى أصابها التصدع بسبب التقدم في السن، ومن عدم استخدامهم لها وذلك عندما يجدون أنفسهم في مواجهة تلك المعلومات المنسية.

ومن تجربتي الشخصية كمتقدم في السن، أعتقد أننا غالبا ما نستطيع تجديد ذكرياتنا المتصدعة. فعند إعادة قراءة حكايتي عندما قابلت <هنري>، تفحصت تاريخ مقابلتنا عبر مراجعة التقرير غير المنشور والمكتوب مباشرة بعد الاختبار. ومع أنني كنت متأكدا بأنني قابلت <هنري> عام 1967، فقد تبين أن التقرير يشير بوضوح إلى أن الاختبار تَمّ عام 1966، وأن مقابلتنا التي تمت قبل عام من التاريخ الذي تذكرته حقيقة لا يمكنني نسيانها سريعا.

وعلى أي حال، يستحيل التحقق وتصحيح بعض الذكريات العابرة. وبينما أعيد قراءة وصفي لـ<هنري> ونحن نصعد السلالم إلى غرفة الاختبار، تذكرت فجأة أن <هنري> أخرج ما يشبه بطاقة دعائية بحجم أكبر من المعتاد وبدأ يخبرني قصصا عن البنادق. ليس بمقدوري أن أتذكر المعالم الأساسية لقصة <هنري> عن البندقية، ولا توجد لديّ طريقة لزيارة ذلك الحادث من عام 1966 كي أجدد ذاكرتي له. وكنتيجة لذلك، فإن تفاصيل حكاية البندقية سوف تنزلق أكثر فأكثر نحو النسيان، وتشبه كثيرا ذكريات <هنري> فيما يخص ذاكرته للكلمات القليلة التداول: أوجه استعمالها ومعانيها وتهجئتها وطريقة النطق بها. ■

المؤلف

Donald G. Mackay

<**ماكي**> هو أستاذ علم النفس في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس. فقد حصل على درجة الدكتوراه في علم النفس اللغوي وفيزيولوجيا علم النفس من معهد ماساشوستس للتقانة (M.I.T.)، وهو مؤلف كتاب «**تنظيم الإدراك والسلوك: نظرية في اللغة والمهارات المعرفية الأخرى**[1]» (1987).

(*) Memory Maintenance

(1) The Organization of Perception and Action: A Theory for Language and Other Cognitive Skills (1987)

مراجع للاستزادة

- **Supra-Normal Age-Linked Retrograde Amnesia: Lessons from an Older Amnesic (H.M.).** D. G. MacKay and C. Hadley in *Hippocampus*, Vol. 19, No. 5, pages 424–445; May 2009.
- **The Neural Basis for Aging Effects on Language.** D. M. Burke and E. R. Graham in *The Handbook of the Neuropsychology of Language*. Edited by Miriam Faust. Blackwell Publishing, 2012.
- **Compensating for Language Deficits in Amnesia II: H.M.'s Spared versus Impaired Encoding Categories.** D. G. MacKay, L. W. Johnson and C. Hadley in *Brain Sciences*, Vol. 3, No. 2, pages 415–459; March 2013.
- **Errors, Error Detection, Error Correction and Hippocampal-Region Damage: Data and Theories.** D. G. MacKay and L. W. Johnson in *Neuropsychologia*, Vol. 51, No. 13, pages 2633-2650; November 2013.
- **Permanent Present Tense: The Unforgettable Life of the Amnesic Patient, H.M.** Suzanne Corkin. Basic Books, 2013.

From Our Archives

- **Making Connections.** J. Anthony Greene; July/August 2010.
- **Trying to Forget.** Ingrid Wickelgren; January/February 2012.

Scientific American Mind May/June 2014

عادات حسنة وأخرى سيئة[*]

يحدد الباحثون بدقة دارات الدماغ التي يمكنها مساعدتنا على تكوين عادات حسنة والتخلص من العادات السيئة.

<A. M. گريبيل> - <K. S. سميث>

نقوم يوميا بعدد مدهش من السلوكات الاعتيادية. والعديد منها، من تنظيف أسناننا بالفرشاة إلى القيادة في طريق مألوف لنا، يسمح لنا ببساطة بالقيام ببعض الأمور بصورة آلية بحيث لا نثقل على أدمغتنا بالتركيز على كل تصرف وعلى ما لا يعد ولا يحصى من عمليات الضبط الصغيرة لمقود القيادة. ويمكن لعادات أخرى، مثل الركض، أن تساعد على المحافظة على صحتنا. ولكن المُتع التي تظهر من طبق الحلوى بانتظام قد لا تفعل ذلك. أما العادات التي تحوم وتضل السبيل في مجال الدوافع والإدمان، من قبيل الإفراط في الأكل أو التدخين، فيمكن أن تهدد حياتنا.

ومع أن العادات تشكل جزءا كبيرا من حيواتنا، إلا أن العلماء قضوا أوقاتا صعبة لأجل تحديد الكيفية التي يُحوِّل بها الدماغ سلوكا جديدا إلى عادة. لكن، من دون تلك المعرفة، كان من الصعب على المختصين مساعدة الناس على التخلص من العادات السيئة، سواء باستخدام الأدوية أو بعلاجات أخرى.

وأخيرا أصبحت التقنيات الجديدة تسمح لعلماء الأعصاب بتحديد الآليات العصبية التي تكمن وراء ما نمارسه من طقوس، بما في ذلك تحديد ما يسمى **دارات عاداتنا**[1]، وهي مناطق الدماغ والروابط المسؤولة عن تكوين التصرفات المعتادة والمحافظة عليها. وتساعد الأفكار الواردة في هذه الأبحاث علماء الأعصاب على أن يستنتجوا كيف يقوم الدماغ ببناء العادات الحسنة، ولماذا يبدو أننا نكافح جميعا للإقلاع عن العادات السيئة التي لا نوليها اهتماما خاصا، وذلك إلى جانب تلك التي يطلب إلينا الأطباء أو الأحبة التوقف عنها. ويفيد هذا البحث بأننا عندما نخضع أدمغتنا عمدا لعلاقة شرطية، فإننا قد نتمكن من التحكم في عاداتنا، حسنها وسيئها على حد سواء. وتأتي هذه البشرى من واحدة من عدة مفاجآت: وهي أنه حتى وإن كان الأمر يبدو وكأننا نتصرف بصورة آلية، إلا أن جزءا من دماغنا يرصد سلوكنا ويضبطه على أكمل وجه.

لكن ما العادة حقا؟[**]

تبرز العادات على ما يبدو بوصفها تصرفات محددة واضحة المعالم؛ ولكنها، من وجهة نظر علم الأعصاب، تقع على امتداد سلسلة متصلة من السلوك البشري.

وفي أحد طرفي هذه السلسلة المتصلة تقع السلوكات التي يمكن أداؤها آليا بما يكفي لتحرير مجال من الدماغ لأداء أعمال مختلفة، هذا بينما يمكن لسلوكات أخرى أن تتطلب الكثير من وقتنا وطاقتنا. وتظهر سلوكاتنا طبيعيا بينما نقوم باستكشاف بيئاتنا المادية والاجتماعية وأحاسيسنا الداخلية. ونحن نجرب سلوكاتنا في سياقات معينة، ونبحث عن أيها تبدو مفيدة ولا تكلف كثيرا، ومن ثم نلتزم بتلك التي سوف تشكل عاداتنا.

إننا نبدأ جميعا هذه العملية في سن مبكرة جدا. ومع

(*) GOOD HABITS, BAD HABITS

(**) WHAT IS A HABIT, REALLY?

(1) habit circuits

باختصار

عندما نكرر سلوكا، فإنه يُخزَّن في دارات خاصة بالعادات تضم منطقة المخطط في الدماغ. وتتعامل الدارات مع العادة بوصفها «كتلة» واحدة، أو وحدة، لنشاط آلي.

غير أن منطقة أخرى في الدماغ، وهي **القشرة الجديدة** the neocortex، تتحكم في العادة. ويمكن أن تؤدي استثارة القشرة الجديدة في جرذان المختبر باستخدام إشارات ضوئية إلى توقف عادة موجودة، بل يمكن أن تمنع عادة من التكوّن.

بالتعلم أكثر عن الكيفية التي تعمل بها هذه البنى الدماغية، يمكن للعلماء إيجاد أدوية وعلاجات سلوكية وحيل بسيطة تساعدنا على التحكم في العادات، حسنها وسيئها.



ذلــك، فإنها تأتينا بمــا يمكن ألا يكون فــي صالحنا. وكلما أصبح سلوك ما عاديا، أصبحنا أقل إدراكا له، ومن ثمّ فإننا نفقد حالــة الانتباه التام إلى ذلك الســلوك. هل حقا أطفأت الفــرن قبل مغادرة البيت؟ هل أغلقــت الباب بالمفتاح؟ فقدان الســيطرة هذا لا يتداخل مع عمل حياتنا اليومية فحسب، بل إنه يســمح أيضا للعادات السيئة بأن تتسرب إلينا. وسرعان ما يدرك العديد من الأشــخاص الذين يــزداد وزنهم بضعة كيلوغرامــات مرة واحدة، أنهم أصبحــوا يذهبون إلى جناح الأكل الخفيــف أو محل **كعكــة «الدونــت»**[١] أكثر فأكثر، ولا يكادون يفكرون في ذلك وهم يقومون به.

وهــذا الإخفاق الذي يؤثر تدريجيا فــي ضبط تصرفاتنا يعني أيضــا أن العادات يمكن أن تصبح شــبيهة بالإدمان. لاحظــوا ألعاب الحاســوب، والقمــار عن طريــق الإنترنت، والرســائل القصيرة والتغريدات المســتمرة، وبطبيعة الحال تعاطي الكحول والمخدرات. يمكن لنمط من الســلوك المتكرر القائــم على الإدمــان أن يحل محل مــا كان اختيارا إراديا متعمــدا. ولا يزال علماء الأعصاب في صراع مع مســألة ما إذا كانت عمليات الإدمان تشبه العادات العادية، ولكنها أكثر كثافة منها، مع أنه يمكن بالتأكيد اعتبارها حالات متطرفة على الطرف الآخر من السلسلة المتواصلة. وعلى هذا النحو يمكن أن تكون بعض الظروف العصبية النفســية، مثل **الوســواس القهري**[٢] الذي تستحوذ فيه الأفكار أو التصرفات على كامل الكيان، وبعض أشكال الانهيار العصبي الذي يمكن للأفكار الســلبية فيه أن تدخل فــي تحلقات مســتمرة. وربما تكون الأشــكال المتطرفة من العادة متورطة في التسبب في مرض التوحد وفي انفصام الشخصية اللذين تعد فيهما السلوكات المتكررة والمفرطة في التركيز مشكلة.

السلوك الإرادي المتعمد يستحيل سلوكا عاديا(*)

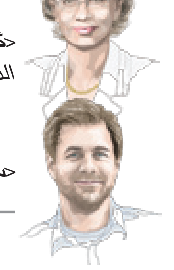
مع أن العادات تندرج ضمن جوانب مختلفة من طيف السلوك، إلا أنها تتقاسم معا بعض السمات الجوهرية. فحالما تتكون، فإنها، على ســبيل المثــال، تصبح عنيدة. اطلب إلى نفســك «التوقف عن فعل ذلك»، ولكن درس التأنيب يخفق في تحقيق ثمرتــه في أغلب الأحيان! ويمكن أن يعود جانب من الســبب إلــى أن هذا الانتقاد غالبا ما يأتي متأخرا، أي بعد أن يكون السلوك قد فعل فعله وأصبحت آثاره ملموسة.

وقد أصبح هذا العناد، بوجه خاص، مفتاح الحل لاكتشاف مجموعة دارات الدماغ المسؤولة عن تكون السلوك والمحافظة عليه. فالســلوكات تصبح متأصلة إلى درجــة أننا نقوم بها حتــى عندما لا نرغب في ذلك، ويعزى ذلك في جانب منه إلى ما يســمى «**طوارئ التعزيز**»[٣]. وليكــن مثلا إنك تفعل «أ»، وهــو ما يترتب عليه أن تحصل على مكافأة بشــكل ما. لكنك إذا ما أنت قمت بالأمر «ب» فإنك لا تحصل على المكافأة وقد تعاقــب. وهذه النتائج الناجمة عــن تصرفاتنا – الطوارئ – تدفع بمستقبل سلوكنا في هذا الاتجاه أو ذاك.

ويبدو أن الإشارات التي تم اكتشافها في الدماغ تتوافق مع هذا التعلم المرتبط بالتعزيز، وهو ما تبينه الدراسات الجديدة التي ابتدرها <W. شــولتز> و<R. رومو>، وكانا كلاهما آنذاك يعملان في جامعة Fribourg السويسرية، وهي الإشارات التي أصبحت تصمم اليوم على يد علماء الحاسوب. والأمر المهم، بوجه خاص، هو «إشــارات الخطأ في توقــع المكافأة»، وهو مــا يدل، بعد وقوع الحــدث المعين، على تقديــر الذهن لمدى دقة وصحة تنبؤ ما بشــأن تعزيز مستقبلي. وبطريقة ما يقوم الدماغ بحساب هذه التقديرات التي تشكل توقعاتنا وتضيف أو تطرح قيمة من مســارات عمل بعينها. وبالمراقبة الداخلية

(*) DELIBERATE BEHAVIOR BECOMES ROUTINE
(١) the doughnut
(٢) obsessive-compulsive
(٣) reinforcement contingencies


المؤلفان



Ann M. Graybiel

<**گريبيل**> أستاذة في المعهد M.I.T. وباحثة في معهد ماكوفرن لبحوث الدماغ التابع للمعهد M.I.T.

Kyle S. Smith

<**سميث**> أستاذ مساعد في علوم النفس والدماغ في كلية دارتماوث.

لتصرفاتنا وإضافة ثقل إيجابي أو سلبي إليها، فإن الدماغ يرسخ سلوكات بعينها، محولا التصرفات من تصرفات مقصودة متعمدة إلى تصرفات اعتيادية، حتى عندما نعلم أن علينا ألا نقامر أو نفرط في الأكل.

لقد تساءلنا مع غيرنا عمّا يجري في شبكة أسلاك الدماغ لإحداث هذا التحول، وعما إذا كان بإمكاننا إيقافه. وبدأ فريقنا في مختبر <گريبيل> في المعهد (M.I.T.)[1] بإجراء تجارب لفك شفرة المسارات المعنية في الدماغ، وكيف يمكن لنشاطها أن يتغير مع تشكل العادات.

وفي بداية الأمر، كنا في حاجة إلى اختبار تجريبي لتحديد ما إذا كان سلوك ما عادة. وكان عالم النفس البريطاني <A. ديكنسون> قد صمم اختبارا في الثمانينات لا يزال مستخدما على نطاق واسع، حيث قام مع رفاقه بتعليم الجرذان في صندوق للتجارب الضغط على ذراع للحصول على طعام كمكافأة.

وعندما تعلمت الحيوانات هذه المهمة جيدا، وأعيدت إلى أقفاصها، «خَفَّض» القائمون على التجربة من قيمة المكافأة، سواء بترك الجرذان تأكل المكافأة إلى درجة التخمة أو بمنحها مخدرا يؤدي إلى غثيان خفيف بعد أكل المكافأة. وبعد ذلك، قاموا بإعادة الجرذان إلى صندوق التجارب، ومنحوها الخيار بين الضغط على الذراع أم لا. فإذا ضغط جرذ على الذراع، حتى وإن أصبحت المكافأة عندئذ غير سارة، فإن <ديكنسون> كان يعتبر السلوك عادة. ولكن، لو كان الجرذ «يقظا» –إذا جاز لنا أن نتحدث عن يقظة لدى جرذ – فإنه لا يضغط على الذراع كما لو كان يدرك أن المكافأة أصبحت الآن غير سارة، فلا تتشكل عادة. وقد أتاح الاختبار للعلماء طريقة لرصد ما إذا كان قد حدث تحول من سلوك هادف إلى سلوك معتاد.

انطباع عادة على الدماغ(*)

باستخدام تنويعات من هذا الاختبار الأساسي وجد الباحثون، بمن فيهم <B. بالين> [من جامعة Sydney] و <S. كلكروس> [من جامعة New South Wales]، دلائل على أن دارات الدماغ تأخذ زمام المبادرة عندما تتحول الأعمال المقصودة المتعمدة إلى عادة. وتشير اليوم أدلة جديدة من التجارب على الجرذان وعلى البشر والقردة أيضا، إلى وجود دارات متعددة تربط بين **القشرة الجديدة** neocortex، التي ينظر إليها على أنها مفخرة دماغ الثدييات فينا، وبين **المخطَّط** striatum، في مركز **العقد القاعدية** basal ganglia، وهو ما يقع في قلب المركز من دماغنا. [انظر الإطار في الصفحة 38]. وتصبح هذه الدارات منخرطة إلى درجة تعلو أو تنخفض عندما نتصرف إما عن قصد أو بالعادة.

وقد قمنا بتعليم جرذان وفئران تنفيذ سلوكات بسيطة. ففي إحدى المهام تعلمت الركض على طول متاهة على شكل T عندما تسمع نقرة. ويتوقف الأمر على **إيحاء ينطوي على «إيعاز»** "instruction" cue صوتي ينطلق عندما تركض، حيث تلتفت يسارا أو يمينا إلى أعلى الشكل T وتركض في ذلك الاتجاه وتحصل على نوع آخر من المكافأة. وكان هدفنا أن نفهم كيف يميز الدماغ بين مزايا ومساوئ اتخاذ سلوك بطريقة ما، ثم الختم على سلسلة من السلوك بوصفها «حافظة»، أي عادة. فمن المؤكد أن جرذاننا كونت عادات لها! وحتى عندما تصبح مكافأة ما غير سارة، فإن الجرذان قد تركض نحوها عندما ينطلق صوت الإيعاز.

ولمعرفة الكيفية التي يقوم بها الدماغ بالختم نهائيا على سلوك ما على أنه يمثل عادة، بدأ مختبر المعهد M.I.T. بتسجيل النشاط الكهربائي لمجموعات صغيرة من **النورونات**[2] **(عصبونات)** neurons في منطقة المخطط. وقد أثار ما وجده فريقنا دهشتنا. فعندما كانت الجرذان تتعلم المتاهة أولا، كانت النورونات في الجزء من المخطط الذي يتحكم في الحركة نشطةً طيلة الوقت الذي كانت تركض فيه الجرذان. ولكن عندما أخذ سلوكها يصبح أكثر اعتيادا، بدأ نشاط النورونات يتكدس في بداية الركض وآخره، ويسكن طيلة ما بين ذلك من الوقت. فقد كان الأمر كما لو أن كل السلوك أصبح مُغلَّفا، مع قيام خلايا المخطط بتسجيل بداية كل عملية ركض ونهايتها. [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. فقد كان هذا نمطا غير مألوف، والذي بدا أنه ربما كان يحدث هو أن خلايا المخطط كانت طيعة، بحيث يمكن أن تساعد على تغليف الحركات وضمها معا، بينما تترك «خلايا خبيرة» قليلة العدد نسبيا للتعامل مع تفاصيل السلوك.

وقد ذكرنا هذا النسق بالطريقة التي يرسخ بها الدماغ الذكريات. نحن نعلم جميعا مدى الفائدة من تذكر سلسلة من الأرقام كوحدات أوسع عوض تذكرها رقما رقما، مثل التفكير في رقم هاتف على أنه 1212-555 بدلا من 2-1-2-1-5-5-5. لقد

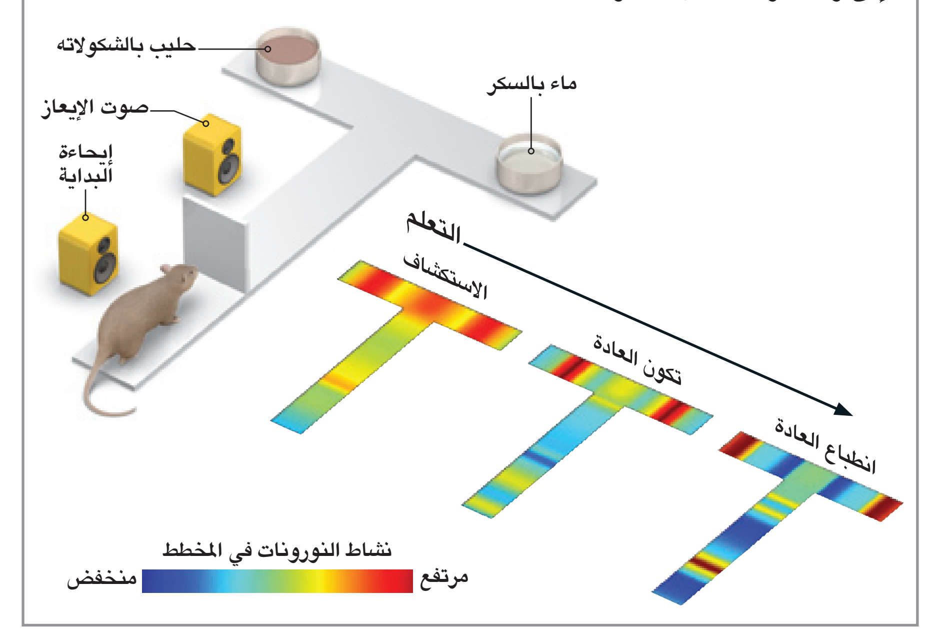
(*) IMPRINTING A HABIT ON THE BRAIN
(1) the Massachusetts Institute of Technology
(2) أو: خلايا عصبية دماغية

وضع عالم النفس الأمريكي الراحل <A .G&gt. ميلر> مصطلح «**التقطيع إلى كتل**»[١] للإشارة إلى عملية عزل الأشياء في وحدة ذاكرة. وبدا نشاط النورونات الذي لاحظناه في بداية الجري ونهايته أمرا مماثلا. ويبدو الأمر كما لو أن المخطط يسم حدودا لكتل السلوك – العادات – التي قررت عملية التقييم الداخلية أنه ينبغي تخزينها. وإذا كان الأمر صحيحا، فإن هذه المناورة ستعني أن المخطط يساعدنا أساسا على الجمع بين سلسلة من التصرفات في وحدة واحدة. أنت ترى طبق الحلوى، وتمد يدك إليه آليا، وتتناول قطعة وتأكلها «دون تفكير».

التجربة

التصرف دون تفكير(*)

أثبتت التجارب على الجرذان أن الدماغ يعامل العادة بوصفها وحدة سلوك فردية. وقد تعلمت الجرذان الركض عبر متاهة بشكل T وأن تدور يسارا أو يمينا نحو مكافأة، استنادا إلى صوت يُصدِر إيعازا. وأثناء عمليات الركض الأولى (الشكل T الأول الملون)، كان النشاط في منطقة المخطط striatum من الدماغ مرتفعا (أصفر وأحمر) أغلب الوقت. ومع تكوّن عادة (الشكل T الثاني) خَفُت النشاط (أخضر وأزرق) باستثناء عندما يكون على الجرذ أن يقرر الدوران أو الشرب. وحالما تستقر عادة ما (الشكل T الثالث)، فإن النشاط يكون مرتفعا فقط في البداية والنهاية، وهو ما يشير إلى وحدة واحدة من السلوك.



وقد حدد الباحثون أيضا «**دارة التفكير التدبري**»[٢] التي تشرك جزءا آخر من المخطط، وتكون نشطة عندما لا يجري القيام بالاختيارات بصورة آلية، بل تتطلب بدلا من ذلك بعضا من التفكير لاتخاذ القرار.

ولفهم التفاعل بين دارتيّ التدبر والعادة هاتين، سجلت <Th. ثورن> [من فريقنا] وجود إشارات في كلتا الدارتين في الوقت نفسه. فكلما تعلمت الحيوانات مهمة يصبح النشاط في القسم الخاص بالتفكير التدبري من منطقة المخطط قويا في منتصف الركض، لا سيما عندما يكون على الجرذان أن تقرر أي طريق يجب أن تدور معه في نهاية المتاهة T على أساس نغمة الإيعاز. وكان هذا النسق معاكسا تماما تقريبا لنسق التقطيع إلى كتل الذي أشرنا إليه في المخطط الخاص بالعادة. ومع ذلك، فقد انخفض النشاط مع التحول التام للسلوك إلى عادة. ويعني وجود هذا النسق أنه بينما نتعلم سلوكات، على الأقل مثلما تفعل الجرذان، فإن الدارات المرتبطة بالعادة تكتسب قوة، ولكن هناك تغيرات تحدث أيضا في الدارات المعنية.

ولأن المخطط يعمل مع الجزء المرتبط بالعادة في القشرة الجديدة في مقدمة الدماغ المعروفة باسم **القشرة الحوفية السفلى**[٣]، فإننا قمنا بتسجيل نشاط يحدث عند ذلك في تلك المنطقة. وكان هذا مفاجأة أيضا. ومع أننا كنا نرى عملية تراكم النشاط عند بدايته وعند نهايته في المخطط الخاص بالعادة، فإننا لم نشاهد في فترة التعلم الأولى إلا القليل جدا من التغيير في القشرة الحوفية السفلى. ولم يجرِ تغير نشاط القشرة الحوفية إلا بعد أن تدربت الحيوانات لفترة طويلة حتى ترسخت لديها العادة. واللافت للنظر هو أنه عندما حدث ذلك تطور هناك نسق التقطيع إلى كتل أيضا. وكان الأمر كما لو أن القشرة الحوفية السفلى هي العنصر الحكيم الهادئ الذي ينتظر حتى يتخذ نظام التقييم في المخطط قرارا نهائيا بأن السلوك المعين كان قيما قبل أن يُعهد به إلى الدماغ الأوسع.

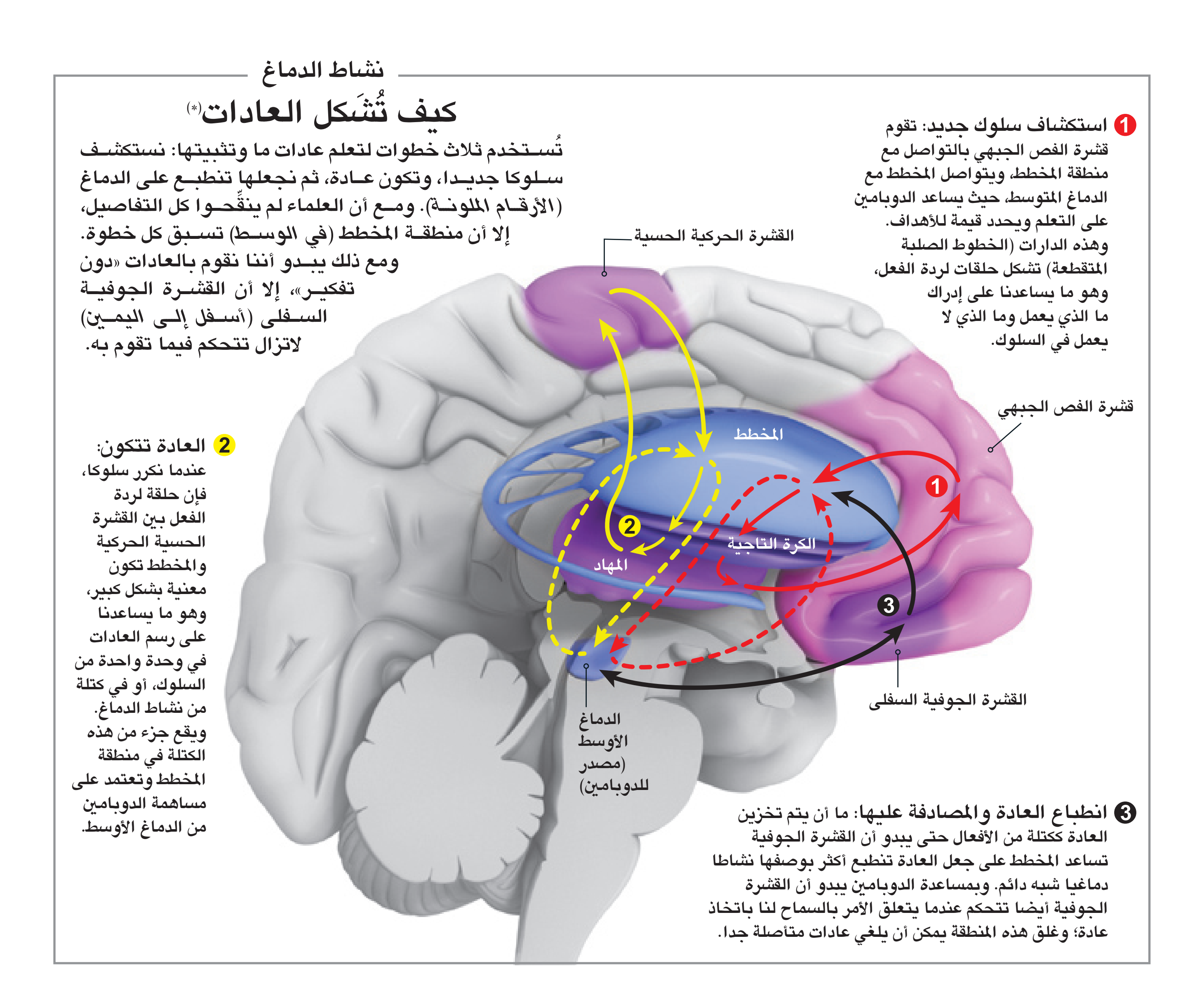
أوقف ذلك!(**)

لقد قررنا اختبار ما إذا كانت القشرة الحوفية السفلى تتحكم بصورة مباشرة في إمكان التعبير عن عادة باستخدام تقنية جديدة تسمى **بصريات وراثية**[٤]. وبفضل هذه التقنية تمكنا من وضع جزيئات حساسة للضوء في منطقة صغيرة جدا

(*) Acting without Thinking
(**) STOP THAT!
(١) the term "chunking"
(٢) "deliberation circuit"
(٣) the infralimbic cortex
(٤) optogenetics

نشاط الدماغ

كيف تُشَكل العادات(*)



بالدماغ، ثم بتسليط الضوء على تلك المنطقة تمكنا من إيقاف عمل النورونات أو إثارتها فيها. وجربنا إيقاف عمل القشرة الحوفية السفلى في الجرذان التي اكتسبت تماما عادة المتاهة وتكون لديها نسق التقطيع إلى كتل. وعندما أوقفنا عمل القشرة الجديدة لثوان معدودات فقط، بينما كانت الجرذان تركض، وضعنا حدا للعادة كليا.

وظهر أنه يمكن إيقاف العادة بسرعة، وأحيانا فورا، وأن يستمر الإيقاف حتى بعد إطفاء الضوء. ومع ذلك لم تتوقف الجرذان عن الركض في المتاهة. والشيء الذي زال فقط هو الركض المعتاد إلى المكافأة التي تم تخفيض قيمتها. وبقيت الحيوانات تركض فقط للوصول إلى المكافأة الجيدة على الجانب الآخر من المتاهة. وفي الواقع، بتكرارنا الاختبار، فإن الجرذان طورت عادة جديدة: الركض نحو الجهة التي توجد فيها المكافأة الجيدة من المتاهة مهما يكن الإيحاء الذي يعطى إلى هذه المتاهة.

وعندما قمنا، بعد ذلك، بكبح عمل القطعة الصغيرة جدا نفسها في القشرة الحوفية السفلى أوقفنا العادة الجديدة، وظهرت العادة القديمة على التو. وهذه العودة إلى العادة القديمة حدثت في ثوان معدودات وبقيت بعدد عمليات الركض التي اختبرناها دون الحاجة إلى إيقاف عمل القشرة الحوفية السفلى مرة أخرى.

وكثير من الناس يعرف الشعور بالعمل المضني الذي قاموا به للتخلي عن عادة، لتعود من جديد كاملة بعد فترة مجهدة أو انتكاسة. وعندما درس العالم الروسي <I. پاڤلوف> هذه الظاهرة على الكلاب قبل سنوات طويلة، خَلَصَ إلى أن الحيوانات لا تنسى أبدا السلوكات الشرطية العميقة مثل العادات. وأكثر ما يمكنها القيام به هو كبتها. ونحن نجد العناد نفسه من جانب العادات لدى جرذاننا. لكن، وبشكل ملحوظ، يمكننا تشغيل

(*) How Habits Form

العــادات وإيقافها بالتعامل مع جزء صغير جدا من القشــرة الجديدة أثناء الســلوك الفعلي. لكننا لا ندري المدى الذي يمكن أن يبلغه هذا التحكم. فعلى ســبيل المثال، لــو علَّمنا الجرذان ثلاث عادات مختلفة على التتابــع ثم أوقفنا الثالثة: فهل تظهر العادة الثانية؟ وإذا أوقفنا الثانية، فهل تظهر الأولى؟

ثمة سؤال رئيســي هو ما إذا كان بإمكاننا منع عادة من التشــكل في المقام الأول. فقد قمنا بتدريب جرذان بما يكفي لجعلهــا تبلغ النهايــة الصحيحة للمتاهــة T، ولكن ليس بما يكفي ليســتقر الســلوك كعادة. وبعد ذلك واصلنا التدريب، ولكن خلال كل ركض اســتخدمنا تقنيــة البصريات الوراثية لكبح القشرة الحوفية عن العمل. وواصلت الجرذان الركض جيدا في المتاهة، ولكنها لم تكتســب عادة قط، على الرغم من الأيام العديدة من التدريــب المكثف الذي عادة ما كان يجعل العادة دائمة. وقد تكونت العادة بشــكل طبيعي لدى مجموعة الجرذان الضابطة التي خضعت للتدريب نفسه دون الانقطاع الناجم عن إعمال تأثير تقنية البصريات الوراثية.

التخلي عن العادات السيئة(*)

تتيح التجارب التي أجريناها بعض الدروس المثيرة للفضول. أولا، ليــس من المدهش أن تســتعصي أي عادة على التخلي عنها، فهي تترســخ وتوسم لتبدو كتلا نمطية لنشاط حيادي، وهي عملية تشمل عمل دارات دماغية متعددة.

وما يثير الدهشة هو أنه حتى وإن بدت العادات آلية تقريبا، فإنها في الواقع تقع تحت التحكم المســتمر لجانب واحد على الأقل من القشــرة الجديدة، وهذه المنطقة يجب أن تكون عاملة وعلى ارتباط مباشــر حتى يتم إعمال العادة. والأمر هو كما لو أن العادات كامنة هناك، وجاهزة للظهور إذا ما وجدت القشرة الجديــدة أن الظروف مواتية لذلك. ويحدث هذا حتى وإن كنا لا نعي رصد ســلوكاتنا الاعتيادية - فهذا هو، على كل حال، ما يشــكل قدرا كبيرا من قيمتها بالنسبة إلينا - لذلك فإن الواقع هو أن لدينا دارات تقوم بتتبعها بصورة فعالة لحظة بلحظة. وقد نصل إلى طبق الحلوى دون «تفكير»، ولكن هناك نظاما للمراقبة يعمل في الدماغ شبيها بنظام التحكم الموجود في الطائرة.

إذن، ما مدى قُربنا من تحقيق مساعدة الناس في العيادة الطبية النفســية؟ فمن المرجح أن الأمر سيستغرق وقتا طويلا حتى يتمكن أحد ما من إدارة زر للتخلص من عاداتنا المزعجة. والطرق التجريبية التي نستخدمها نحن وآخرون لا يمكن نقلها إلى حد الآن إلى البشــر مباشرة. ولكن العلوم العصبية آخذة في التغير بســرعة البرق، والذين يعملون منا في هذا المجال يقتربون من شيء مهم حقا: ألا وهو تحديد الأسس التي تعمل بها العادات. فإذا تمكنا من أن نفهم تماما كيف تبنى العادات وكيف تهــدم، فإنه يمكننا أن نفهم بصورة أفضل ســلوكاتنا الذاتية الغريبة، وكيف يمكن لنا أن نوجهها أو نسددها.

ويمكن أيضا أن تكون معرفتنا الآخذة في الاتساع قادرة حتى على مساعدة الأشــخاص الذين هم في أقصى حالات التطــرف في عاداتهم، وذلك بإتاحــة أفكار عن كيفية معالجة اضطراب الوســواس القهــري ومتلازمة **توريــت** Tourette، والخوف أو اضطراب الإجهاد في مرحلة ما بعد الصدمة.

ويمكن للعلاج بالدواء، أو لعلاجات أخرى آخذة في الظهور، أن تساعد على التخلص من مثل هذه العادات الضارة. ولكننا مندهشــون أيضا من الكيفية التي يمكن أن تُدعِّم بها الدروس، التــي تعلمناها من هذا البحث المتعلق بالدماغ اســتراتيجيات المعالجة الســلوكية، وهــو ما يُنصح به عادة لمســاعدتنا على اتخاذ عادات سليمة والتخلص من العادات غير السليمة. فإذا ما أردت التعود على الركض صباحا، فقد يتعين عليك إذن أن تخرج حذاء الركض في الليلة السابقة حتى لا تنساه في اليوم التالي عندما تســتيقظ. فهذا الإيحاء البصري يحاكي الإيحاء الصوتي الذي اســتعملناه لتدريب الجرذان، وســيكون الأمر فعــالا بوجه خاص لو قدمت مكافأة إلى نفســك بعد الركض. قم بهذا الأمر عدة صباحات، فقد يطور دماغك نســق التقطيع إلــى كتل الذي تريد. أما إذا ما أردت التخلي عن طبق الحلوى فيمكنك إبعاده من غرفة الجلوس أو المكتب، أي إلغاء الإيحاء.

وقد لا يكون تغيير العادات سهلا أبدا. وكما قال <M. توين>، فــإن «العادة هي العــادة، ولا يمكــن لأي كان أن يلقيها من النافذة، بل يتــم التخلي عنها خطوة خطوة». غير أن تجاربنا تقودنا إلى رأي متفائل مفاده أنه بمزيد من التعلم عن الكيفية التي تَبني بها أدمغتُنــا العاداتِ وتحتفظ بها، فإننا نأمل بأن ندرك كيف يمكن للمرء إقناع نفسه بالتخلي عن العادات غير المرغوب فيها واتخاذ العادات المرغوب فيها. ■

(*) BREAKING BAD HABITS

مراجع للاستزادة

Habits, Rituals, and the Evaluative Brain. Ann M. Graybiel in *Annual Review of Neuroscience*, Vol. 31, pages 359–387; July 2008.

Human and Rodent Homologies in Action Control: Corticostriatal Determinants of Goal-Directed and Habitual Action. Bernard W. Balleine and John P. O'Doherty in *Neuropsychopharmacology*, Vol. 35, pages 48–69; 2010.

Optogenetic Stimulation of Lateral Orbitofronto-Striatal Pathway Suppresses Compulsive Behaviors. Eric Burguière et al. in *Science*, Vol. 340, pages 1243–1246; June 7, 2013.

A Dual Operator View of Habitual Behavior Reflecting Cortical and Striatal Dynamics. Kyle S. Smith and Ann M. Graybiel in *Neuron*, Vol. 79, No. 2, pages 361–374; July 24, 2013.

***Scientific American*, June 2014**

الاقتصاد الاحتيالي(*)

تماثل عديد من الممارسات التجارية المألوفة عمليات الاحتيال الشهيرة التي استخدمها ‹بونزي› في القرن الماضي.

‹K. باسو›

منذ القرن التاسع عشر على الأقل تكرر اللجوء إلى مخطط ‹بونزي› وسيلةً للاحتيال في الدول الغنية والفقيرة، وأدى إلى ثراء القلة ممن مارسوه، فأصبحوا من أصحاب الملايين، بينما من جانب آخر دمر حياة الملايين. لكن معظم الناس يمتلكون فكرة مبهمة عن مخططات ‹بونزي›؛ مما يفسر استمرار الكثيرين بالوقوع ضحية لجاذبيتها الغريبة التي تداني ضربا من ضروب السحر. وبالطبع، فقد اتسمت عمليات الاحتيال التي نفذت باستخدام مخططات ‹بونزي› بقدر كبير من الاهتمام بسبب الأزمة الاقتصادية العالمية الأخيرة، وعناوين الصحف إبان فضيحة ‹B. مادوف›؛ التي مثلت أكبر عملية احتيال استخدم فيها مخطط ‹بونزي›، في أوج الأزمة.

ولا بد أن كل من تتبع انهيار ‹مادوف› يعتقد أن مخططات ‹بونزي› لا تعدو كونها مجرد عمليات احتيال متعمدة. فبدلا من استخدام أموال المستثمرين لتمويل مشاريع منتجة، يقدم المحتالُ البعضَ مما أودعه مستثمرون جدد فوائد لمن سبقهم من المستثمرين. لكن الاقتصاديين بدؤوا يدركون الآن أن هذا النمط من السلوك يمكن أن يحدث أيضا بشكل عفوي وبصورة غير واعية. وهذا بكل بساطة من خلال تغذية توقعات المستثمرين بعضها على بعض؛ مما يؤدي إلى فورة من التكهنات، وفقاعة اقتصادية مضخمة لا بد أن تنهار في نهاية المطاف.

ولقد أضحى الباحثون في شؤون الأسواق المالية و**الاقتصاديون السلوكيون**[1] الآن يدركون أن موجات الانكماش والنمو التي تمر بها الأسواق المالية العالمية تضمر سلوكا مشابها لمخطط ‹بونزي›، وأن هذا السلوك ربما صار متأصلا في تعاملات هذه الأسواق، كما هي حال الظواهر الطبيعية كخسوف القمر والمد والجزر في المحيطات دون الحاجة إلى أوغاد مثل ‹مادوف›.

وفي الواقع، يمكن لمخططات ‹بونزي› ارتداء أقنعة

(*) THE PONZI ECONOMY؛ أو: "الاقتصاد البونزي" وينسب هذا الاقتصاد إلى الإيطالي ‹كارلو بونزي› الذي اشتهر بعمليات احتيالٍ مالي في عدة بلاد في العالم.

(1) behavioral economists

(2) Dickens

باختصار

من المرجح أن **فنون الاحتيال** – من الصنف الذي يقوم فيه المحتال بسلب مال زيد كي يعطيه إلى عمرو – كانت من مقومات النشاط الاقتصادي الراسخة على الأقل منذ حقبة ‹ديكنز›[2] في القرن التاسع عشر.

و**النظرة الجديدة** إلى مخططات الاحتيال، التي تدعى أحيانا «مخططات ‹بونزي›،» نسبة إلى أول من استخدمها في الولايات المتحدة، وكان يدعى ‹C. بونزي›، توضح أنها أوسع انتشارا ضمن الاقتصادات المعاصرة مما كان يعتقد سابقا – وأن واضعي نظم المعاملات المالية لا يمتلكون من الوسائل ما يتيح لهم التحكم فيها.

ولفورات **الازدهار والكساد** في الفقاعات المالية خصائص تماثل ما تمتلكه مخططات ‹بونزي› من سمات. ومن جهة أخرى، فإن ممارسات تجارية اعتيادية – كمنح الموظفين خيار شراء أسهم الشركات التي يعملون فيها – قد تستخدم لإخفاء مخططات هرمية كتلك التي تستخدم في مخططات ‹بونزي›.

مختلفة؛ مما يعرقل الكشف عنها وعزلها ومن ثم اتخاذ إجراءات تنظيمية أو قانونية واضحة ضد منفذيها. وفي الأبحاث التي قمت بها تركز اهتمامي على السبل التي يصعب تبينها أو الكشف عنها والتي تستخدم من قبل المؤسسات التجارية لتعويم عملياتها على الرغم مما قد تعانيه من مشكلات، وذلك ربما لفترات وجيزة على الأقل، وهي في واقع الحال «مخططات ‹پونزي› مموهة» لا تخالف القوانين، لكنها قد تخلف آثارا اقتصادية مدمرة.



وإن تزايد الاهتمام بمخططات ‹پونزي›، لا يعود فقط إلى العناوين التي تحفل به الصحف الشعبية عنها، بل لأن أبحاثا حديثة العهد بينت إمكانية تفسير بعض جوانبها، استنادا إلى تحاليل علمية تكشف البنى الرياضياتية التي تستند إليها، من جهة، ومن خلال دراسة نفسية المحتال والسبل التي يستخدمها لغواية ضحاياه مستفيدا من السذاجة الفطرية التي يتصف الكثيرون بها. ولهذه الأبحاث أهمية كبيرة لأنها تبعث الأمل بالكشف عن العمليات والمنتجات المالية الخبيثة في وقت مبكر، قبل أن يوقع إغراؤها الألوف من البشر ويجلب لهم الخراب المالي إضافة إلى محن نفسية مدمرة.

حيلة ‹پونزي› الأساسية(*)

إن مخططات ‹پونزي› هي في الواقع أقدم من ‹.C («تشارلز») پونزي›[1] الذي ولد عام 1882 وتوفي في عام 1949. وعلى الرغم من أن ‹پونزي› كان رائدا لهذا النمط من الاحتيال في نيو إنگلند[2] عام 1920، إلا أن مخططات مشابهة ربما كانت شائعة قبل ذلك التاريخ، كما يتضح من الشخصيات الخيالية المنعدمة الضمير التي استوحاها ‹.Ch ديكنز› من عمليات الاحتيال الاستثماري في لندن إبان **الحقبة الڤيكتورية** Victorian-era – والحقيقة أن الترتيبات التي تضمر الآلية «اسرق مال زيد لتسدد دين عمرو» ربما تزامنت مع نشوء المستوطنات البشرية الكبيرة.

وكما أظهر ‹مادوف› بصورة جيدة للغاية، فإن مخطط ‹پونزي› يعد وسيلة للإثراء السريع. ويمكنه إن تحلى بلمسة من التسويق الساحر، أن يزدهر – وهذا حتى تنكشف الخديعة. وفي مخطط ‹پونزي› الكلاسيكي، قد يَعِدِ المحتال بتحقيق عائد استثنائي يبلغ 10 في المئة شهريا لإقناع شخص ما باستثمار مئة دولار. وعندما يودع شخصان في الشهر التالي مئة دولار لكل منهما، يعيد صاحب المخطط للمستثمر الأول 10 دولارات ويحتفظ بـ 190. وعلى هذا النحو، ينمو الاستثمار بصورة هرمية. فإذا جمع صاحب المخطط مئة دولار في الشهر الأول، ومن ثم ضاعف عدد المستثمرين كل شهر يليه؛ فسيبلغ ما يجنيه في الشهر العاشر 090 46 دولارا. وهكذا يتسنى لمن يدير مخططات ‹پونزي› ناجحة جمع ثروات طائلة. لكن المشكلة تكمن في غياب أسلوب منطقي للتوقف – إذ يؤدي تراجع سيل الاستثمارات الجديدة إلى انهيار المخطط برمته.

ومع ذلك، فإن ما يجعل مخطط ‹پونزي› جذابا إلى أبعد الحدود هو عدم وضوح النقطة التي ينهار عندها. فلو أمكن تحديد نقطة انهيار المخطط، لما كانت آثاره مؤذية إلى الحدود التي قد خبرناها في الواقع. حيث إن أحدا لن يرغب في الاستثمار قبل شهر من حدوث الانهيار، واستنادا إلى ذلك، فلن يرغب أحد في استثمار ماله قبل شهرين من الانهيار، وهكذا دواليك؛ وفقا لمنطق دؤوب يدعى **الاستقراء العكسي** backward induction، بحيث يصير انطلاق عملية الاحتيال غير ممكن أساسا.

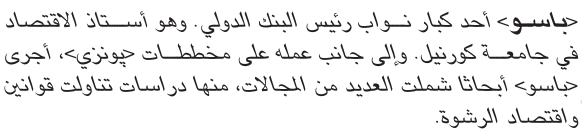
إن غياب نقطة انهيار محددة يظهر معضلة نفسية مهمة. ففي نهاية المطاف قد يعتبر مخطط ‹پونزي› ضربا من الحماقة الجماعية. لكن بالنسبة إلى كل فرد من المستثمرين، فإن الإسهام في مخطط ‹پونزي› لا يخالف في جوهره المنطق، إذ لا بد أن يستغرق انهيار منظومة الاحتيال الهشة بعضا من الوقت.

مخططات ‹پونزي› الطبيعية(**)

تمثل الفقاعات المالية وافدا جديدا نسبيا إلى طيف عديد الألوان من مخططات ‹پونزي›. والاعتراف بها كنمط من مخططات ‹پونزي› يعود إلى أن الدوافع النفسية لدى المستثمر واحدة، سواء ذهبت الاستثمارات إلى سمسار عقارات أو وكيل للبورصة

(*) The Basic Con
(**) Natural Ponzis
(1) Carlo ("Charles") Ponzi
(2) New England





المؤلف

Kaushik Basu

‹**باسو**› أحد كبار نواب رئيس البنك الدولي. وهو أستاذ الاقتصاد في جامعة كورنيل. وإلى جانب عمله على مخططات ‹پونزي›، أجرى ‹باسو› أبحاثا شملت العديد من المجالات، منها دراسات تناولت قوانين واقتصاد الرشوة.

أو محتال يجيد فنون الخداع. فما يضمن استمرار الاستثمار، في جميع الأحوال، هو الارتفاع المطرد في الأسعار – أو على نحو أدق، التوقع بأن تتجه الأسعار إلى الأعلى. وهذا ما دفع حائز جائزة نوبل في الاقتصاد ‹J .R. شيلر› [من جامعة ييل Yale] إلى تسمية الفقاعات المالية «مخططات ‹پونزي› الطبيعية» – إذ إنها فقاعات لا تنشأ نتيجة لمناورات مفتعلة بل استجابة لقوى السوق الطبيعية، حيث تحفز توقعات كل من المستثمرين سواء على المساهمة في الاستثمار.

لقد رأينا هذا يحدث على مر العصور في سوق الإسكان، وفي أسواق الذهب، حيث يرغب الشاري في ابتياع السلعة لمجرد أن الآخرين يقومون بذلك؛ مما يؤدي إلى ارتفاع أسعارها. ولقد انهارت أسعار الذهب مؤخرا – نتيجة «لسلوك القطيع» الذي أدى إلى نشوء مخطط ‹پونزي› طبيعي. إذ كانت أسعار الذهب قد ارتفعت بشكل حاد في الفترة بين عام 2009 إلى عام 2011 لاعتقاد المستثمرين بأن ضخ السيولة من قبل البنوك المركزية لمواجهة الأزمة المالية سيؤدي إلى ارتفاع مستمر بأسعاره. وهذا الاعتقاد دفع البعض إلى استبدال ما لديهم من النقد بالذهب؛ مما أدى إلى انخفاض قيمة النقد ومن ثم إلى سيل من الأصول المالية الرامية إلى الاستفادة من الانتعاش المتوقع في السوق. وهكذا ارتفع سعر أونصة[١] الذهب من نحو 900 دولار إلى 1800 دولار خلال هذين العامين. وفي الشهر 2013/4 حصل تصحيح طفيف، أحدث حالة من الذعر أدت إلى بيع مكثف للمعدن الثمين وانتهت بانهيار كبير في أسعاره. فخلال يومين فقط انهارت أسعار الذهب إلى مستويات أدنى مما كانت عليه قبل ثلاثين عاما؛ مما حيَّر المضاربين والمحللين سوية.

وكما يمكن لمخططات ‹پونزي› أن تنشأ بصورة طبيعية دون تنسيق، فمن الممكن أيضا للفقاعات، والانهيارات التي تليها والتي تبدو طبيعية، أن تصمم لإحراز مكاسب طائلة. وهو ما يشهد به أشهر حدث في تاريخ قطاع الأموال، جرى مطلع القرن الثامن عشر عندما بدأت شركة المسيسيبي[٢] التي كان يمتلكها رجل يدعى ‹J. لو› في فرنسا بتقديم عائدات مضخمة كأرباح من مشاريع كانت هذه الشركة تنجزها في مستعمرة لويزيانا الفرنسية. فقد اجتذبت عملية الاحتيال هذه مساهمات منقطعة النظير من المستثمرين إلى أن حدث تهافت على سحب الودائع من بنك تابع للشركة أدى في نهاية المطاف إلى انهيار الخديعة المحكمة برمتها.

عمليات الاحتيال الخفية[*]

إن تحري بعض التعاملات المالية التي لا تشبه مخططات ‹پونزي› ظاهريا قد يكشف أنها في واقع الحال مخططات هرمية مموهة. وغالبا ما تنشأ هذه المخططات، التي تلتزم تماما بالقوانين النافذة، بسبب تلاعب الشركات بعملياتها لتبقى عائمة في الأوقات الصعبة. وتطرح مخططات ‹پونزي› المموهة تحديا للمسؤولين عن تنظيم التعاملات المالية؛ إذ تتداخل مع أنشطة قانونية تماما. وإن تطبيق الأنظمة بحزم فائق لاستئصالها، كما يستأصل الجراح ورما خبيثا، قد يضر بالأنسجة السليمة المحيطة، بينما يواجه تركها دون رادع مخاطر استمرار نمو الخلايا الخبيثة. إضافة إلى ذلك، من الممكن لهذه المخططات الهرمية المموهة أن تتخذ أشكالا متباينة.

من الأمثلة على هذه المخططات تلاعب بعض الشركات والحكومات، من وقت إلى آخر، بقروضها – وهي ممارسة غير ضارة في حد ذاتها. فقد لا يرغب المقترض – سواء أكان فردا أو شركة أو دولة – في تسييل قسط من الأصول التي يمتلكها من أجل سداد دين مستحق، لما قد يترتب على ذلك من تكاليف مرتفعة. فيلجأ إلى نمط من التلاعب، يتمثل باستدانة المبلغ المطلوب من مقرض جديد لسداد المقرض الأول. وإذا انعدمت بعدئذ مقدرة المقترض على سداد القرض أو لم يتحقق العائد المرتفع المنتظر، فقد يؤسس ذلك لانهيار شامل.

ويرى بعض خبراء الاقتصاد أن أزمة الديون التي شهدتها البيرو في أوائل الثمانينات، عندما حصلت الحكومة على قروض جديدة لسداد قروض سابقة، تمثل شكلا من أشكال التلاعب بالقروض. فقد خابت توقعات الحكومة بتحسن الاقتصاد، بسبب زلزال ضخم ضرب البلاد، تلاه تراجع في صادرات البطاطا والسكر، وأزمة ديون عمت أرجاء أمريكا اللاتينية، وأدت هذه التحولات مجتمعة إلى تدن في الناتج المحلي الإجمالي.

ويمكن للعديد من أشكال النشاط التجاري الشرعي أن تخفي مخططات تشبه ما قام ‹پونزي› بتنفيذه. ولننظر إلى الممارسات التي تتمثل بمنح خيارات شراء الأسهم للموظفين، وهي ممارسات واسعة الانتشار وقانونية تماما، ويمكنها أن تولد أرباحا مع أنها قد تنتج سلعا منخفضة التكلفة وذات قيمة متدنية.

وكمثال معبر عن هذه الممارسات، يمكن لشركة ناشئة في

(*) Hidden Scams
(١) ounce
(٢) Mississippi Company

وادي السيلكون[1] أن تقوم بتوظيف خريجين ذوي مهارات عالية بمرتبات منخفضة، تقل عن المرتبات السائدة في السوق، وتمنح إضافة إلى هذه المرتبات فرصة شراء أسهم الشركة مما يولد لديهم الأمل بعوائد كبيرة في المستقبل. وهكذا تؤمن الأجور المنخفضة التي تمنحها الشركة لموظفيها الأرباح حتى ولو باعت منتجاتها بأسعار أدنى من أسعار منافساتها. وفي الوقت ذاته يحتفظ مالك الشركة بجزء من الفرق بين المنتجات المنخفضة السعر والأجور المتدنية، بينما يوزع ما تبقى كأرباح إضافية لكبار الموظفين.

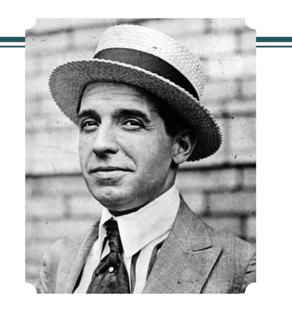
ومع نمو الشركة وانضمام أعداد أكبر من الموظفين إليها، يمكن لمن بادر بإنشائها تحقيق أرباح مرتفعة للغاية، على الرغم من أنها ستنهار في نهاية المطاف، كما هي حال جميع مخططات ‹بونزي›، تاركة الموظفين عاطلين عن العمل ولديهم أسهم لا قيمة لها.

وفيما يلي مثال مبسط يوضح كيف تتم هذه العملية، وكيف تتبنى سمات مخطط ‹بونزي›. تعرض شركة ناشئة على العاملين لديها أجورا منخفضة، تقل في واقع الحال عن القيمة الدولارية لما ينتجه الموظف، وهكذا يمكن للشركة أن تجني بعض الربح لقاء كل موظف يلتحق بها. بينما تحفز جاذبية الخيارات أو الفرص التي تعرضها الشركة لشراء أسهمها، المزيد من الموظفين على العمل لديها، وهذا على الرغم من انخفاض ما تقدمه لهم من أجور. وتعين الشركة الناشئة عاملا واحدا في ربع السنة الأول من عملها، وتمنحه فرصة ابتياع أسهم تعادل قيمتها نصف أرباحها عن تلك الفترة. ومن ثم تضاعف حجم قوة العمل لديها بتعيين عامل إضافي – وتعرض عليه خيارات تعادل ربع أرباحها عن تلك الفترة. وفي الفترة الثالثة تضاعف الشركة مجددا فريق العاملين لديها بتعيين مُوظَفَين جديدين، وتقدم إليهما حزمة خيارات تعادل ثمن أرباحها عن تلك الفترة، وهو ما يعنى حصول كل موظف جديد على خيارات تعادل 16/1 من الأرباح. وهكذا دواليك في كل ربع يلي ذلك.

تضمن هذه الخطة تضاعف أرباح الشركة كل ربع سنة. ولأن الموظفين يحصلون على حصة ثابتة من الأرباح، فإن الأرباح العائدة لما يمتلكون من أسهم تتضاعف أيضا كل فترة. بينما ينجم دخل صاحب الشركة عن الفارق في قيمة السلع المنتجة من قبل العاملين والأجور المنخفضة التي يتقاضونها لأن صاحب الشركة يحتفظ بجزء من هذا الفارق، بينما يوزع الباقي على الموظفين كعائدات على الأسهم التي ابتاعوها.

ويجعل النمو الأسي لقيمة خيارات شراء الأسهم العملَ لدى الشركة الناشئة مغريا مع أن هؤلاء المهنيين المدربين تدريبا عاليا لم يكونوا ليجدوا العمل لديها جذابا نظرا لتدني ما تقدمه من أجور. ومع ذلك، وفي نهاية المطاف، فإن مخطط ‹بونزي› المموه هذا سينهار وسيقود الشركة إلى الإفلاس لأن نمو الشركات على هذا النحو يتطلب توسعا غير محدود في القوى العاملة، وهو أمر مستحيل في عالم عدد سكانه محدود.

ومن مخططات ‹بونزي› المموهة التي أخطأت المسار ذاك الذي نفذته شركة النفط البرازيلية OGX التي كان يديرها الملياردير الشهير السابق ‹E. باتيستا›[3]. لقد كان صعود الشركة OGX مذهلا، كما كانت نهايتها. فقد مثَّلت عندما انهارت في الشهر 2013/10، أكبر حالة من



‹C. پونزي›

المساعد الخاص لمأمور السجن

ولد ‹كارلو پيترو جيوڤاني گوگايلمو تيبالدو پونزي›[2] في 1882/3/3 في مدينة لوگو بإيطاليا. وبعد أن أضاع عدة سنوات بجامعة في روما، قضاها كما يقضي البعض «إجازة مدفوعة الأجر،» هاجر إلى الولايات المتحدة، ونزل في بوسطن في أواخر عام 1903. وسرعان ما اتضحت خصلتان من خصاله. إذ كان عديم الضمير وخارق الذكاء – ظهرت الخصلة الأولى عندما احتجز في سجن كندي لقيامه بتزوير توقيع والثانية عندما كتب إلى أمه الحبيبة من السجن، موضحا أنه اتخذ عنوانه الجديد بسبب الوظيفة الرائعة التي حصل عليها وهي «مساعد خاص» لمأمور السجن.

وعندما عاد إلى بوسطن بعد إطلاق سراحه، شرع ‹پونزي› في تصميم مخطط مالي بعد الآخر للتغرير بمن يسهل الإيقاع بهم من الطبقات الوسطى، فمنح الاحتيال المالي مكانة رفيعة. ولم يؤد انهيار أحد أكبر مخططاته إلى إفلاس العديد من العائلات وحسب؛ بل سبب أيضا انهيار ستة بنوك في مدينة بوسطن. وبعد دخوله السجن وخروجه منه مرات، تم ترحيله إلى إيطاليا، ومن هناك هاجر إلى البرازيل. وتوفي في ريو دي جانيرو في 1949/1/18 في فقر مدقع وقد تحطم نفسيا وأدركه المرض.

---

(١) Silicon Valley

(٢) Carlo Pietro Giovanni Guglielmo Tebaldo Ponzi

(٣) Eike Batista

اسرق <هارشا> لسداد <گوبار>(*)

القصة القصيرة بعنوان: «رنام كرتفا» («بالدَّين إن لزم الأمر»)، للكاتب البنغالي <Sh. شاكرابورتي>[1] الذي اشتهر في منتصف القرن العشرين، تصف بفاعلية الأسس التي يستند إليها مخطط <پونزي>. وفي هذه القصة يقول بطل الرواية إنه احتاج بصورة ماسة إلى مبلغ 500 روبية صباح يوم من أيام الأربعاء. فتذكر صديقه الساذج من أيام المدرسة <هارشاباردان>[2] واستجمع الشجاعة لزيارته ليقنعه بأن يقرضه المبلغ، واعدا إياه بأن يسدد الدين يوم السبت التالي. وعندما أتى يوم السبت، صار يواجه ورطة أخرى. لكنه تذكر، لحسن الحظ، صديق طفولته الساذج الآخر، <گوباردهان>[3]، وسرعان ما يتملقه ليحصل على قرض بمبلغ 500 روبية، مع وعد بأن يعيد المبلغ يوم الأربعاء التالي. وهكذا يعيد مبلغ 500 روبية إلى <هارشاباردان>. لكن عليه يوم الأربعاء أن يسدد القرض الذي حصل عليه من <گوباردهان>. لذا عاد مرة أخرى ليقترض من <هارشا> مذكرا إياه أنه رجل يفي بوعوده. وهكذا يقترض 500 روبية مرة أخرى ويقوم بإعادة سداد <گوبار>. وسرعان ما يصبح هذا حدثا أسبوعيا.

وهكذا تجري الحياة ببطء بالنسبة إلى بطل الرواية من السبت إلى الأربعاء ومن الأربعاء إلى السبت. لكن كارثة تلوح أمامه عندما يرى <گوبار> و<هارشا> يتمشيان باتجاهه من جانبين على مفترق الطريق، يشعر الراوي بالدوار أول الأمر لكنه يتعافى في الوقت المناسب ليقول لكليهما كم هو مسرور بلقاء صديقيه المفضلين معا. وبعد حوار عادي، يخبرهم بأن لديه خطة، ويؤكد لهم أنها لن تغير في حياتهم شيئا ولكنها ستنقذه حتما من متاعب لا داعي لها. فيقول لـ<هارشا>: «في كل يوم أربعاء، من فضلك اعط <گوبار> 500 روبية،» ثم يتوجه بالكلام إلى <گوبار> ليقول: «وكل يوم سبت اعط 500 روبية لـ<هارشا>.» وتذكرا أنه لا يجب أن تتوقفا أبدا عن فعل ذلك.» وبينما يحاول الصديقان الحائران معرفة ما الذي يحدث، يودعهما بطل الرواية ويتركهما حائرين.

ترجمة إنكليزية من القصة القصيرة «رنام كرتفا» في إكونومسيتس ميسيليني Economist's Miscellany، بواسطة كاوشك باسو Kaushik Basu (مطبعة جامعة أكسفورد، 2011)

حالات تخلف الشركات عن الوفاء بالتزاماتها في تاريخ أمريكا اللاتينية. فقد استخدمت الشركة OGX استراتيجية تضمنت استقطاب الموظفين الموهوبين من شركات أخرى بمنحهم خيارات سخية لشراء أسهمها. واستثمرت هذه الاستراتيجية فترة من الزمن، بينما أخذت الديون تتراكم كالهرم المقلوب رأسا على عقب. ومن ثم انهارت الشركة تاركة موظفيها ومستثمريها مفلسين.

ينجم التحدي الذي تواجهه المساعي الرامية إلى تنظيم المداولات المالية عن تبدل طبيعة مخططات <پونزي> المموهة خلال مراحل تنفيذها، وذلك بحيث يبدو المشروع في نهاية المطاف قانونيا بصورة تامة. إن توافر المناخ الاقتصادي المواتي وقدر من الحظ قد يؤدي بالشركة التي تنغمس في تلك الممارسات إلى ابتكار وتوفير منتجات مرتفعة القيمة؛ مما يسمح لها بالتالي بتعيين المزيد من الموظفين دون منحهم خيارات لشراء أسهمها. ومن الممكن بعدئذ أن تبطئ توسعها بحيث تتمكن تدريجيا من البقاء، دون الحاجة إلى نمو لا ينتهي وزيادة مستمرة بتوزيع الأسهم على الموظفين. وهذا ما يجعل تدخل الهيئات المنظمة صعبا، ويقلص الرغبة في تطبيق إجراءات ربما أدت إلى وأد أعمال تجارية مشروعة وإلى تثبيط مبادرات قد تطلقها مؤسسات أخرى. من جهة أخرى، فإن غياب التنظيم المناسب قد يؤدي إلى نشوء مخططات هرمية وعمليات احتيال يمكن أن تسبب أضرارا فادحة.

أكبر كثيرا من أن تفشل(**)

يعود التحدي الأكبر في صياغة النظم المصممة لمكافحة المخططات الهرمية إلى وجود أنشطة تمزج بين التعاملات القانونية وغير القانونية. فإذا احتال مدير مؤسسة تستخدم مثل هذه المخططات على مستثمر ما متظاهرا بأن أموال هذا المستثمر ستستثمر على نحو منتج - بينما لا بد أن تقابل المكاسب الحالية في واقع الحال خسائر حتمية لمن سيستثمر مستقبلا - فمن الممكن عندئذ أن توجه إلى هذا المدير تهمة الاحتيال الإجرامي. لكن، وكما هي الحال في مخططات <پونزي> الأخرى، فمن الممكن أن تدار هذه العمليات علنا وأن تستمر باجتذاب الأموال ممن لا يعي مخاطرها.

كما ينجم جانب من المعضلة عن أن تعاملات البشر تفتقر إلى قدر من العقلانية. فالحاجة إلى فرع ضمن العلوم الاقتصادية التقليدية يدعى «**الاقتصاد السلوكي**»[4] وإلى فيض من التجارب المخبرية المتصلة به لَدليل ناطق على قصور البشر عن التصرف بالعقلانية المتوقعة منهم في الكثير من الأحيان. وتماشيا مع الإدراك بأن تعاملات البشر كثيرا ما تفتقر إلى العقلانية تبرز الحاجة إلى تصميم قوانين تقي من

(*) Robbing Harsha to Pay Gobar
(**) Too Big to Fail
(1) Shibram Chakraborty
(2) Harshabardhan
(3) Gobardhan
(4) behavioral economics

إن الحاجة إلى فرع ضمن العلوم الاقتصادية التقليدية يدعى «الاقتصاد السلوكي» وإلى فيض من التجارب المخبرية المتصلة به، لَدليل ناطق على قصور البشر عن التصرف بالعقلانية المتوقعة منهم في كثير من الأحيان.

يحتاج منهم إلى الحماية.

وبفضل ما تراكم عبر السنين من بيانات وتحليلات، تسعى قوانين كثيرة الآن إلى حظر مخططات ‹پونزي› التي تمثل عمليات احتيال مكشوفة تستهدف الغافلين. ففي الولايات المتحدة، كلفت هيئة الأوراق المالية والتداولات[1] بإغلاق مخططات ‹پونزي› الاحتيالية. وتسعى قوانين تتصف بقدر متزايد من الحصافة، مثل قانون دود-فرانك[2] الذي مرره الكونگرس عام 2010، إلى معالجة أشكال لا تعد ولا تحصى تتخذها هذه المخططات الهرمية. وقادت موجة من المخططات الشبيهة بمخططات ‹پونزي› إلى مناقشات في الهند لتعديل قانون هيئة الأوراق المالية والتداولات الهندية[3] الصادر في عام 1992 ليصير أكثر فاعلية في مراقبة عمليات الاحتيال المالية.

إن إحدى أكبر الصعوبات التي تجابه مكافحة مخططات ‹پونزي›، إن كانت قانونية أم لا، تعود إلى السياسات العجيبة التي تنتهجها بعض الحكومات. فالعديد منها، في الاقتصاديات الصناعية على وجه التحديد، تلتزم بالتدخل لإنقاذ كبرى الشركات عندما تكون على وشك الانهيار. ويمكن لهذه الممارسة، التي يشار إليها بعبارة «**أكبر من أن تفشل**[4]،» (والتي أضحت شائعة إلى حد يبرر استخدام المختصر غير المحبب (TBTF)[4] في الإشارة إليها) أن تجتذب المستثمرين إلى شركة تنفذ مخطط ‹پونزي› اعتقادا أن مجرد كون الشركة أكبر من حد معين، يستدعي تدخل الحكومة لتسعفها بأموال دافعي الضرائب، وذلك للحيلولة دون انهيارها ولتحمي بالتالي المستثمرين كليا أو جزئيا، على أقل تقدير.

يستند تبرير سياسة الممارسة TBTF إلى الاعتقاد أنه عندما تفلس شركة استثمارية كبرى، فإن الأضرار التي تلحق بالمواطنين العاديين تبلغ حدودا تحتاج الحكومة معها إلى التدخل وإنقاذ الشركة من الإفلاس. ومع ذلك، فقد أصبح من الواضح الآن أن هذه السياسة، إن كانت حسنة القصد – أو حتى ولو لم تكن كذلك ولكنها مُوِّهت لتأخذ صورة حسنة – قد تؤدي إلى تفاقم الأزمات المالية؛ إذ تطمئن المسؤولين عن شركات التعاملات المالية أن ما قد يتحقق من أرباح نتيجة مخططاتهم، سيكون ملكا لهم ليحتفظوا به، بينما يتحمل دافعو الضرائب الخسائرَ في حال حدوثها. وقد كان لهذه السياسة دور جلي خلال الأزمة المالية العالمية الأخيرة.

لقد شجعت هذه السياسة بعض المؤسسات على خوض مجازفات متهورة وانتهاج ممارسات مالية غير مسؤولة. ومن الواضح أننا نحتاج إلى سياسات تسمح بالتدخل الحكومي لحماية شركة خاصة من الإفلاس، ضمن ظروف استثنائية. لكن لا ينبغي لهذه السياسات أن تحمي أولئك الذين يديرون هذه الشركة ويتخذون القرار فيها. واستنادا إلى هذا التوجه، يسعى العديد من الدول إلى وضع قواعد محكمة تحول دون اضطرارها إلى إنفاق أموال دافعي الضرائب من أجل إنقاذ الشركات المالية الكبرى من الانهيار.

ومن بين الأفكار الجديدة الأخرى التي أبرزها العقد الماضي الذي حَفِل بعمليات الاحتيال والأزمات المالية نظام اعتماد للمنتجات المالية. فكما هي الحال بالنسبة إلى الطبيب الذي يكتب وصفة طبية لدواء خطر، يتطلب هذا النظام توقيع خبير مالي على أي منتج مالي جديد، وقد يكون هذا المنتج الجديد رهنا عقاريا معقدا، بحيث يكون آمنا للمشتري قبل أن يتمكن أي شخص من تسويقه. لكن، حتى ولو تبنت الشركات تدابير كهذه، فالواقع هو أن مخططات ‹پونزي› والفقاعات المالية التي تصاحبها تؤدي، في بعض الأحيان على الأقل، إلى أضرار تسمم النشاط الاقتصادي في أي بلد كان. ولن يتوقف من تسوغ له نفسه عن مواجهة كل نظام جديد بمنتج مالي مبتكر صمم للاستيلاء على أموال الناس، وستبقى الحاجة إلى قيام المؤسسات المسؤولة بتصميم نظم مواتية في المقابل. ■

(١) the Securities and Exchange Commission
(٢) Dodd-Frank Act
(٣) Securities and Exchange Board of India Act
(٤) too big to fail

مراجع للاستزادة

Irrational Exuberance. Robert J. Shiller. Princeton University Press, 2000.

Ponzi's Scheme: The True Story of a Financial Legend. Mitchell Zuckoff. Random House, 2005.

Animal Spirits: How Human Psychology Drives the Global Economy, and Why It Matters for Global Capitalism. George A. Akerlof and Robert J. Shiller. Princeton University Press, 2009.

A Marketing Scheme for Making Money Off Innocent People: A User's Manual. Kaushik Basu in *Economic Letters*, Vol. 107, No. 2, pages 122–124; May 2010.

Scientific American, June 2014

Majallat AlOloom

المجلد 30 العددان 12/11
نوڤمبر/ ديسمبر 2014

مجلة العلوم







(*)

<B. كانترويتز>



يستخدم الباحثون أدوات مستعارة من الطب وعلم الاقتصاد لمعرفة أصلحها للصفوف الدراسية؛ لكن النتائج لم تحقق نجاحا يذكر في المدارس.

المؤلفة



Barbara Kantrowitz

<كانترويتز> هي من كبار المحررين في Hechinger Report، وهو منظمة إخبارية غير ربحية تصب تركيزها على الصحافة التربوية. وهي تعمل أستاذة في كلية كولومبيا للصحافة، وعملت محررة وكاتبة لأكثر من عشرين عاما في مجلة نيوزويك تناولت خلالها القضايا التربوية والصحية والاجتماعية.

كانت <A. فيشر> تترأس ندوة دراسية جامعية حول الانتباه وقابلية تشتت الذهن لدى الأطفال الصغار عندما لاحظت أن جدران قاعة الدراسة كانت مجردةً من الصور. وهذا ما دفعها إلى التفكير في قاعات صفوف رياض الأطفال التي عادة ما تكون مزدانة بالملصقات المبهجة والخرائط المتعددة الألوان والمخططات البيانية والرسوم الفنية. وتساءلت عن تأثير كل تلك الحوافز البصرية في الأطفال الذين هم أكثر عرضة لتشتت الذهن من طلبتها في جامعة كارنيگي ميلون. فهل تؤثر الزينة في قدرة الأطفال الصغار على التعلم؟

ولمعرفة ذلك، أعدت <K. گودوين>، وهي طالبة جامعية لدى <فيشر>، تجربة تضمنت تلاميذ رياض الأطفال في مدرسة كارنيگي ميلون للأطفال، وهي مدرسة اختبارية داخل الحرم الجامعي. وتقضي التجربة أن تجلس مجموعتان تضم كل منهما 12 تلميذا من روضة الأطفال في غرفة يجري بشكل متناوب تزيينها بأشياء تشتريها <گودوين> أو إبقاؤها مجردة من الزينة، وأن تستمع كل مجموعة في كلتا الحالتين إلى ثلاث قصص عن العلوم. وكان الباحثون يصورون التلاميذ على شريط فيديو ويدوّنون فيما يعد مدى الانتباه الذي يبديه كل طفل. وفي نهاية القراءة، كانت تطرح على التلاميذ أسئلة تتعلق بما استمعوا إليه. وتبين أن الذين كانوا في الغرفة

باختصار

يُجري الباحثون مئات التجارب في مسعى من جانبهم إلى إدخال العلوم الدقيقة في مدارس الولايات المتحدة.

بدأت الحركة عندما وضع الرئيس السابق <جورج بوش> الأب قانون «**عدم التخلي عن أي طفل**[1]»، واستمرت هذه الحركة في عهد الرئيس <أوباما>.

باستخدامهم التقانات الحديثة الناشئة والطرائق الجديدة في تحليل البيانات، يُجري الباحثون دراسات كان من المستحيل إجراؤها قبل عشر سنوات.

والأبحاث الجديدة تطرح تحديات في وجه المعتقدات الواسعة الانتشار، من قبيل أن الحكم على المعلمين ينبغي أن يتم بصورة أساسية انطلاقا من مؤهلاتهم العلمية، وأن حجم الصف الدراسي ذو أهمية حاسمة، وأن الطلبة بحاجة إلى تعليمات مفصّلة لكي يتعلموا.

الخالية من الزينة أولوا على الأرجح انتباها أكثر من الآخرين وأحرزوا علامات أعلى في اختبارات الفهم.

وتشكل مئات التجارب المماثلة لتجربة <فيشر> جزءا من المساعي الرامية إلى إدخال العلوم الدقيقة في جميع صفوف المدارس الأمريكية. فقد بدأت الحركة مع قانون «**عدم التخلي عن أي طفل**»[1] للرئيس السابق <جورج بوش> الأب واستمرت في عهد الرئيس <باراك أوباما>. وفي عام 2002، أنشأت وزارة التربية والتعليم **معهدَ العلوم التربوية** (IES)[2] لتشجيع الباحثين على متابعة ما يوصف بـ«**بحث صالح علميا**»[3]، لا سيّما التجارب المقارنة العشوائية التي يعتبرها مؤيدو المعهد IES القاعدةَ الذهبيةَ. كما أنشأت الحكومة ما هو بمثابة «مركز لتبادل المعلومات للنتائج الناجحة» لتزويد معلمي المدارس بقاعدة بيانات بالنتائج المتعلقة بكل شيء بدءا باستعراضات مناهج تعليمية خاصة وحتى تقنيات تدريس قائمة على أدلة.

وحاليا يستخدم الباحثون تقانات ناشئة وطرائق جديدة لتحليل البيانات من أجل استحداث تجارب كان من المستحيل إجراؤها حتى قبل عشر سنوات. فكاميرات الفيديو تتتبّع حركة العين لمعرفة المكان الذي يوجّه التلاميذ انتباههم إليه؛ ومحساسات البشرة تبلغنا عما إذا كان الطلبة متنبهين أم يشعرون بالملل. أما علماء الاقتصاد، فقد توصلوا إلى معرفة كيفية تقليص بيانات محاكاة التجارب العشوائية التي غالبا ما يكون تنفيذها في المدارس صعبا وباهظ التكلفة.

ويتخطى قسم كبير من البحوث الجديدة القياسات البسيطة للاختبارات الموحدة لدراسة عملية التعلم أثناء حدوثها. ويقول السيد <P. بليكشتاين> [أستاذ مساعد في كلية التربية بجامعة ستانفورد]: «إنني معنيٌّ بقياس الأشياء المهمة، وقد قمنا بتطوير تقانات وطرائق جديدة لجمع البيانات للاستحواذ على العملية»، فجزء من التجربة هو قياس حسن إنجاز الطلبة للمهمة المنوطة بهم؛ كما أن الباحثين يسجلون عدة أمور من بينها مدى شدة تحديق العين والاستجابة الكهربائية للبشرة وما يتبادله الطلبة مع زملائهم. ويسمي <بليكشتاين> هذا النهج «**تحليل التعلّم المتعدد الأساليب**[4].»

وبالفعل تطرح المنهجية الحديثة تحديات في وجه الاعتقادات الواسعة الانتشار بتبيان أنه لا يمكن الحكم على المعلمين انطلاقا فقط من مؤهلاتهم العلمية، وأن حجم الصف ليس دائما بالغ الأهمية، وأن الطلبة قد يشاركون عمليا بصورة

(*) THE SCIENCE OF LEARNING
(1) No Child left Behind
(2) the Institute of Education Sciences
(3) scientifically valid research
(4) multimodal learning analytics

أكبر حين يُفرض عليهم إتمام واجب دراسي. ومع أن هذه الدراسات لم تتوصل بعد إلى «الرصاصة السحرية» لعلاج كل الآفات التي تصيب المدارس الأمريكية، بيد أن النتائج قد بدأت بملء بعض الثغرات التي تتخلل تلك الأحجية البالغة التعقيد التي تُسمى تربية وتعليم.

بحث عن أنماط(*)

لقد تبين أن الأسئلة الاستفزازية تسفر عن نتائج مذهلة. ففي سلسلة من التجارب التي أجريت على طلبة المدارس المتوسطة والثانوية، حاول ‹بليكشتاين› أن يفهم أفضل السبل لتدريس الرياضيات والعلوم وذلك بتجاوز الأدوات البدائية نسبيا مثل الاختبارات المتعددة الخيارات لتقييم معرفة الطلبة. فهو يقول في هذا الصدد: «إن الكثير مما يجري في مجالات الهندسة والعلوم هو الفشل بعينه. فأنت تحاول القيام بشيء ما، لكن محاولتك تبوء بالفشل، وعندئذ تعيد تقييم آرائك؛ ثم تعيد المحاولة من جديد باعتماد مجموعة من الأفكار الجديدة.» وكانت هذه إحدى العمليات التي يأمل بتحقيقها باعتماد هذه الأدوات الجديدة: «فنحن نُحضر الأطفال إلى المختبر ونجري دراسات نطلب إليهم فيها إقامة نوع من المشاريع الهندسية أو العلمية.» ويقوم الباحثون بوضع أجهزة استشعار في المختبر وأحيانا على الأطفال أنفسهم. وبعد ذلك يجمعون البيانات ويحللونها بحثا عن أنماط. ويلاحظ ‹بليكشتاين› أن «ثمة الكثير من الأمور التي تتعارض مع الحدس بشأن الكيفية التي يتعلم بها الناس، وما نود أن نبيّنه هو أن حدسنا يكون مخطئا أحيانا.»

غير أن الأمر الذي لقي رواجا في الآونة الأخيرة هو **التعلم «بالاكتشاف»**[1] الذي يكتشف فيه الطلبة بأنفسهم الحقائق بدلا من تلقّيها مباشرة من المعلّم. ويحاول ‹بليكشتاين› وزملاؤه في الموقع FabLab@School، وهي شبكة من ورش العمل التربوية التي أنشأها ‹بليكشتاين› في عام 2009، التعرف مباشرة على الحجم الفعلي للإرشاد الذي يحتاج إليه الطلبة. صحيح أن الأهالي لا يودون رؤية أبنائهم وهم يعانون الإحباط في المدارس، لكن ‹بليكشتاين› يقول: «إن هناك مستويات من الإحباط والفشل تكون مجزية للغاية وتمثل طرائق جيدة للتعلم.» فقد حاول هو وزملاؤه في إحدى الدراسات معرفة ما إذا كان الطلبة يتعلمون أكثر عن موضوع علمي معين إذا ما استمعوا أولا إلى محاضرة عنه أو قاموا بنشاط تفسيري له. فالاستماع أولا للمحاضرة يعتبر، بحسب قوله، بمثابة

(*) LOOKING FOR PATTERNS
(**) Stop Lecturing Me
(١) discovery learning

الكف عن إلقاء المحاضرات(**)

الدليل واضح على المستوى الجامعي: فطلبة العلوم يكتسبون قدرا أقل من التعلم حين يقتصر دورهم على مجرد الإصغاء السلبي.

يقدم أساتذة العلوم في الجامعات مجلدات ضخمة من العظات سعيا وراء الحقيقة من خلال البيانات والتجارب الدقيقة، لكنهم حين يدخلون إلى الصف يستخدمون أساليب قديمة الطراز وغير فعّالة. فالجزء الأكبر من المقررات العلمية العليا يقوم بتدريسه أستاذ عن طريق إلقاء المحاضرات، حتى أمام مئات الطلبة؛ مما يبين أن طرائق التدريس البديلة تحقق قدرا أكبر من التعلم لدى الطلبة ومعدلات رسوب أقل.

وترد تلك الطرائق الحديثة تحت أسماء مختلفة، بما في ذلك التعلم النشط. والسمة المشتركة فيما بينها تتمثل بأن الطلبة بدلا من الإصغاء السلبي يقضون الحصة الدراسية وهم منخرطون في الإجابة عن الأسئلة وحل المسائل ومناقشة الحلول مع زملائهم والتفكير المنطقي في شأن المادة التي يدرسونها والحصول في الوقت ذاته على الردود والملاحظات العادية من مدرّسهم. وكما ورد في دراسة أجرتها الأكاديمية الوطنية للعلوم في عام 2012، وفي استعراض مفصل نشر على الإنترنت في الشهر 2014/5 في إطار مداولات الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة، فإن هذا النهج يحسّن عملية التعلّم في مختلف مجالات العلوم والهندسة وفي كل من المقررات التمهيدية والمتطورة [انظر الرسم البياني في المقابلة الصفحة].

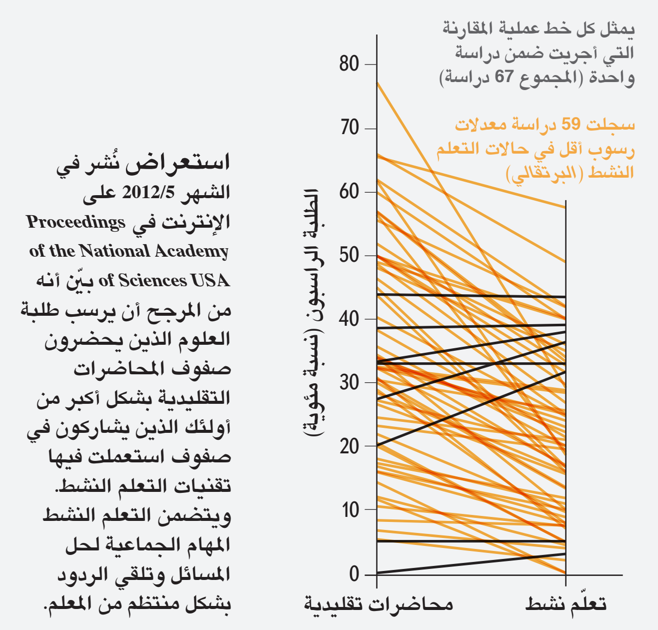
وهنالك الكثير من الطرق المختلفة لتطبيق التعلم الإيجابي. ففي الصفوف الصغيرة، يعمل الطلبة في الغالب ضمن مجموعات لتكملة سلسلة خطوات تشكل مسألة أكبر حجما. وفي الصفوف المؤلفة من 100 إلى 300 طالب، يستخدم المدرسون غالبا **أجهزة «النقر»** chickers التي تتيح للطلبة نقل الإجابات إلى المعلم على الفور عن طريق الضغط على زر من مقاعدهم؛ مما يتيح المجال للمعلم على الفور بمعرفة نسبة الطلبة الذين استوعبوا المادة. وأفضل الأسئلة هي تلك التي تثير تحديا وتتضمن الفهم واستعمال المفاهيم الأساسية بدلا من مجرد الحفظ عن ظهر قلب. وحين يتوصل معظم الطلبة إلى فهم خاطئ لسؤال ما، يطلب المعلم إلى الطلبة مناقشة الموضوع مع زملائهم المجاورين ومن ثم يُعاد الاقتراع. وخلال ذلك، يستمع المعلم إلى تلك المحادثات ويقدم المساعدة الهادفة إلى الطلبة. وباعتماد أي من هذه الطرائق، يقضي المعلم وقتا طويلا وهو يتكلم، ولكن المستمعين هم الطلبة الذين كانوا قد استعدوا للتعلّم. فيفهمون سبب أهمية المادة وكيف يمكن استخدامها في حل المسائل. وبذلك تصبح المادة في سياق يجعلها مفهومة بدلا من طرحها كمجموعة من الحقائق والإجراءات التي لا معنى لها والتي لا يمكنهم سوى حفظها عن ظهر قلب دون فهمها.

وتقدم البحوث التعليمية لصفوف التعليم الأساسي (K-12) صورة أقل وضوحا عن مزايا التعلم الإيجابي. ويعود ذلك إلى أن البحوث في التعليم الأساسي تكون أكثر صعوبة بسبب وجود قدر أكبر من الأشياء خارج حيِّز سيطرة الباحثين. ولعل العامل المتغير الأهم يتمثل بالمستوى غير المتجانس والمتدني غالبا لإجادة الباحثين فهم الموضوع. وبما أن التعلم الإيجابي يتطلب التطبيق العملي وتقديم ردود حيال التفكير كالخبير (العالِم)، فإنه يستدعي أن يكون لدى المعلم قدر أكبر من الخبرة. أما في المستوى الجامعي، فلا تمثل معرفة المعلم أو إلمامه بالموضوع أي مشكلة، لأن مجموعات الطلبة تكون

أكثر تجانسا فيما تكون القضايا التي قد تؤثر في التعلّم أقل. ولسوء الحظ، سيظل المستوى المتدني لإجادة معلمي العلوم فهم المواضيع في مرحلة التعليم الأساسي قائما إلى أن يتحسن التعليم العلمي الجامعي إلى الحد الذي يسمح لجميع الطلبة، بمن فيهم المعلمين المرتقبين لمرحلة التعليم الأساسي، بالتخرج وهم مزودون بفهم راسخ للعلم وبنموذج أفضل لعلم التعليم والتعلم.

وبالنظر إلى وجود الكثير من الأدلة العلمية وراء التعلّم النشط، يبرز السؤال التالي: لماذا يندر استخدام هذه الطرائق في الكليات والجامعات؟ ويردّ سبب ذلك بجزء منه إلى التعوّد دون غيره؛ فقد بدأ إلقاء المحاضرات في الكليات والجامعات نظرا لعدم وجود الكتب ومن ثَمّ كان من المتوجب إملاء المعلومات ونسخها. ولم تكن طرائق التعلم قد تكيفت بعد مع وجود المطابع. والسبب الثاني هو هشاشة فهم عملية التعلم، حيث يعتقد معظم الناس، بمن في ذلك الأساتذة والإداريون في الكليات، أن التعلم يتم بمجرد الإصغاء إلى المعلم. وهذا صحيح إذا كان المرء يتعلم شيئا في منتهى البساطة، مثل التنبيه إلى أنه «يجب أكل الفاكهة الحمراء لا الخضراء»، لكن التعلم المعقد، بما في ذلك التفكير العلمي، يتطلب الممارسات الموسعة والتفاعلات التي وردت سابقا بشأن إعادة برمجة الدماغ حرفيا لكي يتسنى له استيعاب المزيد من القدرات الجديدة. والسبب الأهم وراء عدم قدرة تغير المنهجيات في التعليم العالي يكمن في انعدام وجود الحوافز. فالكليات والجامعات يتم تقديرها ومكافأتها فقط وفقا لمدى ما تحققه من نجاح في ملاحقة مبلغ الأربعين بليون دولار سنويا من أموال البحوث الفدرالية. ومن ثم ينعدم وجود الحافز الذي يحث على استخدام طرائق التعلم القائمة على البحوث بدلا من الخرافات التربوية والتعوّد. والواقع أن عددا قليلا من الجامعات في الولايات المتحدة، إن وجدت، يتعقب طرائق يجري اتباعها في الصفوف. وما دام ذلك صحيحا، فلن تتاح أمام الطلبة الفرصة لمقارنة نوعية التعليم الذي سيتلقونه في مؤسسات مختلفة، ومن ثم لا تشعر أي مؤسسة بضرورة للتحسن.

‹C. وايمان› حاز جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2001، ويشغل منصبا مشتركا في قسم الفيزياء بجامعة ستانفورد وكلية التعليم الجامعية التابعة لها.



استعراض نُشر في الشهر 2012/5 على الإنترنت في Proceedings of the National Academy of Sciences USA بيّن أنه من المرجح أن يرسب طلبة العلوم الذين يحضرون صفوف المحاضرات التقليدية بشكل أكبر من أولئك الذين يشاركون في صفوف استعملت فيها تقنيات التعلم النشط. ويتضمن التعلم النشط المهام الجماعية لحل المسائل وتلقي الردود بشكل منتظم من المعلم.

المصدر: "ACTIVE LEARNING INCREASES STUDENT PERFORMANCE IN SCIENCE, ENGINEERING, AND MATHEMATICS," BY SCOTT FREEMAN ET AL., IN PROCEEDINGS OF THE *NATIONAL ACADEMY* OF SCIENCES USA, VOL. 111, NO. 23; JUNE 10, 2014

«تلقي المعلومات ثم الممارسة، فالاطلاع أولا ومن ثم يأتي دور التطبيق.» وكان الطلبة مقسومين إلى مجموعتين: الأولى تبدأ بتلقي المحاضرة، والثانية تبدأ بالنشاط التفسيري. وقد كرر الباحثون التجربة في دراسات عدة وتوصلوا إلى نتائج متسقة إلى حد ما: فقد حقق الطلبة الذين قاموا أولا بالتطبيق العملي أداء أفضل بنسبة 25 في المئة مما حققه الطلبة الآخرون الذين استمعوا إلى المحاضرة في البداية. ويقول ‹بليكشتاين›: «إن الفكرة هنا تكمن في أنه إذا استمعت إلى المحاضرة أولا دون أن تستكشف المسألة بنفسك قليلا، فلن تكون عندئذ على علم تماما بالأسئلة التي تجيب عنها المحاضرة.»

وتعمل الأدوات والطرائق الجديدة لتحليل البيانات على جعل البحوث التربوية أكثر دقة وفعالية. وقد أسهم ‹J. ماتسوديرا› [أستاذ الإدارة والسياسات العامة في جامعة كورنيل] في إعادة إحياء أداة بحث قديمة واستخدامها في دراسة جدوى المدارس الصيفية وأثر تمويلها من الباب الأول، وهو برنامج اتحادي موجه إلى المدارس التي لديها نسبة مئوية معينة من الطلبة ذوي الدخول المتدنية. وتعمل الطريقة، المسماة **تحليل الارتداد والانقطاع**[1]، على مقارنة مجموعتين من الطلبة على جانبي عتبة معينة. ففي الدراسة عن المدارس الصيفية، على سبيل المثال، أجرى ‹ماتسوديرا› مقارنة بين الطلبة الذي أحرزوا في الامتحانات نتائج أعلى بقليل من المستوى الذي يؤهلهم للالتحاق بالمدارس الصيفية وبين الطلبة الذين أحرزوا نتائج أدنى منه بقليل، وذلك لمعرفة ما إذا كانت المدرسة الإضافية تحسن نتائج الطلبة في الامتحانات. ويستخدم التصميم في إجراء محاكاة لتجارب مقارِنة عشوائية.

وكان استنتاجه أن المدارس الصيفية يمكن أن تكون وسيلة فعالة من حيث التكلفة لتحسين نتائج الاختبارات بدلا من تقليص حجم الصفوف.

وفي دراسته عن الباب الأول، أجرى ‹ماتسوديرا› مقارنة بين المدارس التي يكون مستواها أعلى بقليل من الحد اللازم للحصول على تمويل اتحادي وبين المدارس التي يكون مستواها أدنى من هذا الحد بقليل. وتبين له أن التمويل لم يحدث فرقا يذكر في التحصيل الأكاديمي للطلبة الأكثر احتمالا للتأثر بالتمويل. لكنه أوضح أيضا بعض الحدود المتعلقة بتصميم البحوث. فمن الممكن أن تستفيد المدارس ذات النسبة المئوية الأعلى من الطلبة الفقراء بصورة أكبر من التمويل الإضافي. كما أن من الممكن أيضا أن تستخدم المدارس القريبة جدا من العتبة التمويلَ لإنفاقه مرة واحدة

(1) regression-discontinuity analysis

أكثر من توظيفه في استثمارات طويلة الأجل لعدم تيقن هذه المدارس من أن عدد الطلبة فيها سيبقى على حاله وأنها ستظل مؤهلة للحصول على تمويل اتحادي مستقبلا.

ويقوم باحثون آخرون باستخراج البيانات من أجل تتبع التقدم الذي يحرزه الطلبة مع الوقت. ويتذكر ‹R. بيكر› [أستاذ مساعد في كلية المعلمين بجامعة كولومبيا ورئيس الجمعية الدولية لاستخراج البيانات التربوية] أنه حين كان يعمل على أطروحته للدكتوراه في السنوات الأولى التي تلت عام 2000، كان ينهض كل صباح عند الساعة السادسة ويتوجه بسيارته إلى مدرسة كان يقضي فيها اليوم برمته واقفا على قدميه وهو يدون الملاحظات على لوحة معدّة للعرض. وتبين بعد مضي عقد من الزمن أن عمل ‹بيكر› الروتيني قد اختلف كليا. فقد أكمل هو وزملاؤه مؤخرا دراسة مطوّلة مدتها سبع سنوات، وممولة من المؤسسة الوطنية للعلوم، وهم يبحثون في ملفات السجل عن كيفية استخدام الآلاف من طلبة المدارس المتوسطة لبرنامج إلكتروني لتعلم الرياضيات اسمه ASSISTments. وبعد ذلك، تتبع الباحثون معرفة ما إذا كان الطلبة قد التحقوا بالكليات الجامعية، وإن فعلوا ذلك، وما هو مدى انتقائية الكلية وما هي التخصصات التي اختاروها، وذلك لمعرفة ما إذا كان باستطاعتهم الربط بين استعمال الطلبة للبرمجيات وبين إنجازاتهم الأكاديمية اللاحقة.

ويقول ‹بيكر›: «إن البيانات الضخمة تتيح لنا المجال للنظر على مدى فترات زمنية طويلة والتمعن في التفاصيل الدقيقة». وقد كان الشاغل الأول له ولزملائه هو معرفة ما الذي يحدث للطلبة الذين كانوا «يتلاعبون» بالنظام – محاولين التسلل إلى مجموعة من المشكلات من دون الالتزام بجميع الخطوات المطلوب اتباعها. ويقول: «سواء كُنت تتعمد إساءة استخدام البرمجيات التربوية من أجل تحقيق هذا التعلم أم لا، فإن هذا التعلّم هو أداة للتنبؤ بما إذا كنت سوف تلتحق بالجامعة أفضل مما هو مدى انتظامك في الدوام المدرسي.» وتبين أن التلاعب بالمسائل السهلة ينطوي على مخاطر أقل من التلاعب بالمسائل الأكثر صعوبة. فالطلبة الذين يتلاعبون بالمسائل السهلة ربما كانوا قد أصيبوا بالملل، في حين أن الطلبة الذين يتلاعبون بالمسائل الصعبة قد لا يكونون قد فهموا المادة. ويرى ‹بيكر› أن هذا النوع من المعلومات قد يساعد في النهاية المعلمين والمرشدين ليس فقط على معرفة الطلبة المعرضين لمخاطر المشكلات الأكاديمية، بل أيضا، على معرفة سبب تعرضهم لهذه المخاطر وما الذي يمكن عمله لمساعدتهم.

بناء قاعدة أدلة(*)

والدراسات الحديثة تسهم في تكوين قاعدة أدلة لم تكن موجودة في مجال التعليم منذ زمن بعيد. ويشير ‹G. وايتهرست› [المدير المؤسس للمعهد IES] إلى أنه حين بدأ عمله في عام 2002، أي مباشرة بعد سريان مفعول قانون «عدم التخلي عن أي طفل،» طلب إليه كبير المراقبين في منطقة أغلبيتها من الأقليات اقتراح منهاج للرياضيات ثبتت فعاليته بالنسبة إلى طلبته. فأجابه ‹وايتهرست›: «لا يوجد مثل هذا المنهاج... ولم يكن ليصدق أن القانون يطالبه بإسناد كل ما يقوم به إلى بحث علمي، ولم يكن هناك مثل هذا البحث.» ويشير ‹وايتهرست› الذي يعمل الآن مديرا لمركز ‹براون› للسياسات التربوية وكبير الباحثين في مؤسسة بروكينگز قائلا: «لم يكن كبير المراقبين وحده في ذلك، فلم يكن هناك سوى قدر قليل جدا من البحوث التي تتناول بالفعل احتياجات واضعي السياسات والمربين، فمعظمها بحوث وضعها الأكاديميون وكليات التربية لكي يطلع عليها الأكاديميون وكليات التربية. وهذا هو الحد الذي وصلت إليه الأمور.»

قد لا يتفق الكثير من الباحثين مع هذا التقييم الفظ. بيد أن هذا الانتقاد دفع بالمجتمع المحلي نحو تفحص وشرح طرائقه ورسالته. ففي السنوات الأولى للمعهد IES، كان ‹وايتهرست› وآخرون يقارنون باستمرار العلوم التربوية بدراسات العقاقير، مشيرين إلى أن الأشخاص الذين يتناولون المدارس بدراستهم، ينبغي أن يختبروا المناهج التعليمية أو الممارسات التعلمية، كما يفعل الباحث في مجال الصيدلة مع العقاقير الجديدة. فالاستراتيجيات والمناهج التعليمية اللتان تجتازان تلك الاختبارات ستدخلان حيز التطبيق بعد المرور بمركز تبادل المعلومات.

وفي اعتقاد ‹إيستون› [المدير الحالي للمعهد IES والباحث التربوي السابق في جامعة شيكاغو] أن مركز تبادل المعلومات مفيد بوجه خاص كطريقة لدفع الحكومة إلى بيع منتجات قد تشعر مناطق المدارس المحلية بأنها مضطرة إلى شرائها. ويقول: «أعتقد أنه مصدر قيّم بالفعل، ومصدر موثوق به يمكنك التوجه إليه لمعرفة ما إذا كان هناك دليل يثبت نجاح هذا المنتج التجاري.» ويضم مركز تبادل المعلومات الآن أكثر من 500 تقرير تلخص النتائج الراهنة بشأن هذه الموضوعات، مثل الإرشاد في مجال الرياضيات للصغار والكتابة في المدارس الابتدائية ومساعدة الطلبة على عملية التقديم للجامعات. كما أنه استعرض مئات الآلاف من التقارير للإسهام في التمييز

(*) BUILDING AN EVIDENCE BASE

بين البحوث الراقية الأداء والأعمال الضعيفة، بما في ذلك الدراسات المتعلقة بمواضيع من قبيل فعالية المدارس المستقلة ومكافأة المعلمين تبعا للجدارة، التي استنار بها المركز في مناقشته لتلك القضايا.

ويقول ‹وايتهرست› إن أحد أهم الإسهامات التي قدمها لتشديد الحكومة على العلوم الدقيقة تتمثل بالتغير الهائل في تعريف المعلّم الراقي الأداء. ففي السابق كانت الجودة تحدد على أساس المؤهلات مثل شهادة معينة أو اعتماد من نوع ما. ويؤكد الآن قائلا: «إن التشديد الآن يتمحور حول مدى الفعالية في الصف الدراسي مقيسة بالملاحظات وبقدرة المعلمين على تحسين نتائج الاختبارات». وعلى الرغم من وجود الكثير من الجدل حول كيفية تقييم فعالية المعلم، فإن ‹وايتهرست› يعتقد أن التغيير في النهج المتبع كان مدفوعا من قبل مجتمع البحوث، لا سيما علماء الاقتصاد «الذين انخرطوا في هذا الموضوع فجأة بسبب توفر موارده – بيانات وموارد دعم البحوث.»

وقد أعرب الكثير من الباحثين عن استيائهم لأن تشديد المعهد IES على التجارب المقارِنة العشوائية أدى إلى إغفال بعض المنهجيات الأخرى المحتملة الفائدة. فقد تسهم دراسات الحالة لمناطق المدارس المحلية، على سبيل المثال، في وصف الممارسات التعلمية المعمول بها مثلما تستخدم كليات إدارة الأعمال دراسات الحالة الخاصة بالشركات. ويقول ‹A. كيلي› [أستاذ علم النفس التربوي في جامعة جورج ميسون]: «إن الصورة القائمة حاليا هي بمثابة نظام بيئي (إيكولوجي) من المنهجيات، مما يبدو منطقيا لأن التعليم هو ظاهرة معقدة إن وجدت – أي معقدة بالمفهوم العلمي». ويقول ‹إيستون› إنه مازال يعتقد أن التجارب المقارِنة العشوائية تشكل جزءا مهما من تلك العملية، ولا تمثل بالضرورة «الحدث الأخير المتوّج لها». وهو يعتقد أن التجارب قد تفيد أيضا في بداية عملية التدخل التربوي لمعرفة ما إذا كانت هناك نتيجة فعالة وجديرة بمزيد من التقصي.

من المختبر إلى الصف الدراسي(*)

مازال إدخال هذا العلم الجديد إلى المدارس يطرح تحديا. وتقول ‹F .J. موندي› [المدير المساعد في مديرية التعليم والموارد البشرية في مؤسسة العلوم الوطنية]: «إن ما يميز البحوث التربوية، شأنها في ذلك شأن الكثير من المجالات الأخرى، هي أنها عادة مسار عمل طويل، ومن غير المرجح للغاية أن يكون لأي دراسة فريدة تأثير في فترة قصيرة من الزمن.» وهناك أيضا حاجز قائم منذ زمن بعيد بين المختبر والصف الدراسي. ففي الماضي، كان الكثير من الباحثين يشعرون بأنه ليس من واجبهم العثور على تطبيقات واقعية لعملهم. وكان معظم المعلمين يعتقدون أن الخبرة التي اكتسبوها في الصف الدراسي تعمل على الإضعاف من شأن أي شيء يمكن للباحثين أن يطلعوهم عليه.

إن جعل المربين جزءا من البحث التربوي قد يحقق النتائج المرجوة في الصفوف الدراسية. وغالبا ما يشعر المعلمون بأن الخبرة التي اكتسبوها يجري تجاهلها وأن عليهم بدلا من ذلك اعتماد منهاج جديد كل بضع سنوات من دون تقديم الكثير من الشرح.

وكان من المفترض أن يسهم مركز تبادل المعلومات الناجحة في سد تلك الفجوة، لكنه تبين لمكتب المساءلة العامة في عام 2010 أن نسبة 42 في المئة فقط من مناطق المدارس المحلية التي قام بمسحها قد سمعت به. وتبين في المسح الذي أجراه مكتب المساءلة العامة أن 34 في المئة فقط من المناطق قد تمكنت من النفاذ إلى الموقع الإلكتروني لمركز تبادل المعلومات مرة واحدة على الأقل، وأن نسبة أقل من ذلك تنفذ إلى الموقع بصورة متكررة. وفي تقرير محدّث صدر في الشهر 2013/12، ذكر مكتب المساءلة العامة أن عملية النشر مازالت مسألة شائكة، وأن الحاجة إلى ذلك ملحة الآن أكثر مما مضى مع تنفيذ المعايير الحكومية الأساسية الموحدة. فالناشرون يدفعون بحزم نحو اعتماد المناهج الدراسية التي تدعي أنها متوائمة مع المعايير الجديدة، لكنه ليس بمقدور موظفي الشراء في المناطق الذهاب إلى مركز تبادل المعلومات والبحث عن المعايير المشتركة المجربة. وبدلا من ذلك عليهم البحث عن دراسات تتعلق بمنهاج دراسي معين ينظرون فيه – وليست جميع هذه الدراسات موجودة في قاعدة البيانات.

وقد اعترف ‹إيستون› وزملاؤه بالحاجة إلى قنوات أفضل للمدارس. وكجزء من الحل نشر مركز تبادل المعلومات 18 «مبدأ تطبيقيا» تعرض ما هو معروف عن موضوعات من قبيل تدريس الطلبة الذين يتعلمون اللغة الإنكليزية أو تدريس مادة الرياضيات للتلاميذ الصغار. وقد تم جمع كل مبدأ تطبيقي

التتمة في الصفحة 61

(*) FROM LAB TO CLASSROOM

مكوناتٌ ذات شكلٍ متكيف آتيةٌ(*)

آلات مرنة أحادية القطعة(1) قد تجعل تجميع القطع الصلبة خلال عملية التصنيع شيئا من الماضي.

<S. كوتا>

في عام 1995 بينما كنت أقود سيارتي في يوم ماطر وفي إحدى ضواحي آن آربر بولاية مِتشيگان، سيطرت مسّاحات الزجاج الأمامي للسيارة على تفكيري. وكنت آنذاك أشغل منصب أستاذ مشارك في الهندسة الميكانيكية بجامعة مِتشيگان. وفي السنوات السابقة كنت قد قمت بالعديد من الدراسات حول ما يعرف في الصناعة بـ«**التصميم للتجميع**(2).» وكان الهدف من ذلك تقليل عدد الأجزاء في أي جهاز عند تجميعه؛ مما يقلل من تكاليف التصنيع والتجميع. وكنت قد بدأت أتساءل في سياق هذا العمل عما سيحدث لو أخذت فكرة التصميم للتجميع إلى نهايتها المنطقية وهي: هل من الممكن أن نقوم بتصميم المنتجات من دون تجميع؟

وعلى نحو مفاجئ وأنا جالس وراء عجلة القيادة، تبين لي أن مسّاحات الزجاج الأمامي لسيارتي كانت مثالا ساخرا على إضاعة الجهد الهندسي. فإطار المساحة الحامل للشفرة المعدة للاستبدال، يجب أن يكون مرنا للغاية. كما يجب الحفاظ على الشفرة ضاغطة باستمرار على الزجاج طوال حركته جيئة وذهابا على سطح غير مستو متغير ذي محيط محدد. كما يتعين أن يكون الإطار قادرا على القيام بذلك عند تنوع نماذج السيارات واختلاف شكل الزجاج الأمامي لكل منها. فكيف كانت استجابتنا لهذه الحاجة المطلوبة إلى المرونة؟ لقد كانت نظاما معقدا يتألف من قضبان جامدة ووصلات ومحاور.

لقد كان لي اهتمام آخر متنام في تلك الأثناء وهو **التصميم المرن أو المتوافق**(3)، والذي يُمَكن من بناء آلات قوية ولكن مرنة باستخدام أقل عدد ممكن من القطع. لقد نجحت بالفعل مع زملائي في بناء آلات متنوعة من قطعة واحدة من المواد. فعلى سبيل المثال، في عام 1993 قمت مع طالبَيْ دراسات عليا لديّ هما <K .G. أنانثاسوريش> و<L. ساجير> ببناء **دباسة مطواعة** compliant stapler لا تجميعية. لكنني تخيلت أن مساحة الزجاج الأمامي ستكون حالة اختبار مثالية. إذ إن مساحة من **قطعة واحدة**(1) أو **وحيدة الشكل**(4)، يمكنها الاستغناء فعليا عن التجميع. ويشكل هذا المشروع في حال نجاحه أكثر من مجرد تمرين في الهندسة وتبسيطها. إن القسم الأكبر من تكلفة تصنيع المساحة يذهب إلى تجميعها. ولن يشكل إنتاج مثل هذه البضائع ذات التجميع الكبير أمرا مدهشا بانتقالها منذ فترة طويلة إلى خارج الولايات المتحدة إلى بلدان ذات أجور عمالة منخفضة نسبيا.

لم نشتغل أنا وزملائي بتصميم مساحة زجاج أمامي

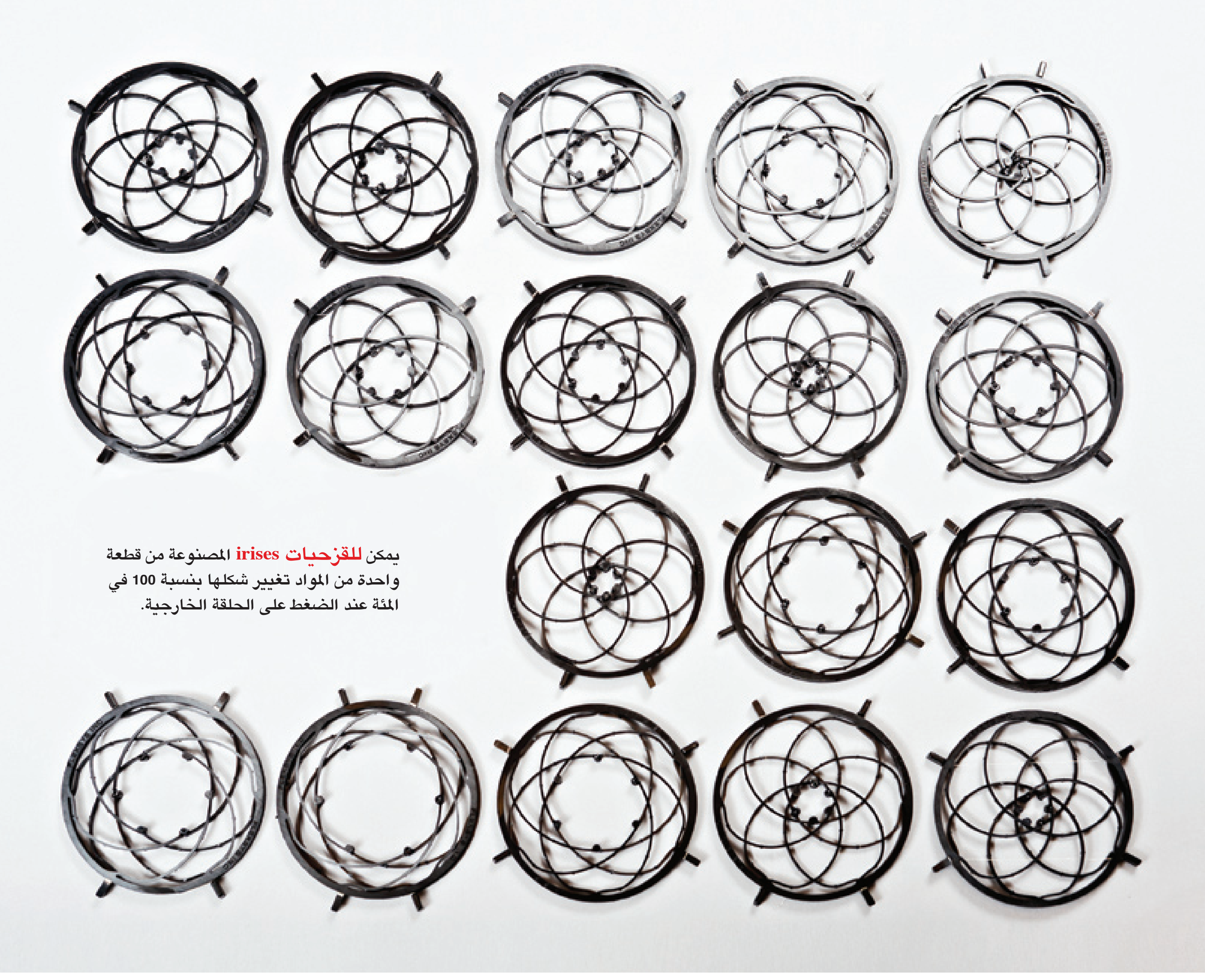
(*) SHAPE-SHIFTING THINGS TO COME
(1) one-piece
(2) design for assembly
(3) elastic, or compliant, design
(4) monoform

باختصار

يتم الحصول على المرونة في **الآلات التي يبنيها الإنسان** من خلال نظم معقدة تتكون من أجزاء صلبة لكنها قليلة الفعالية. مردُّ ذلك، وجود تنافر بين الصلابة والمرونة في غالب الأحوال.

نوصّف التصميم المرن أو المطاوع، بأنه توجه هندسي يمكّن من تحقيق المرونة بتوزيع الأحمال عبر مكونات قابلة للتشكل تصنع بأقل عدد ممكن من الأجزاء.

بذلك يصبح بالإمكان تصنيع آلات جديدة كأجنحة الطائرات المتغيرة الشكل و**الإنسالات الثعبانية** snake robots، فضلاً عن زيادة التحمل والفعالية لمختلف أنواع المكونات المستخدمة.



يمكن **للقزحيات irises** المصنوعة من قطعة واحدة من المواد تغيير شكلها بنسبة 100 في المئة عند الضغط على الحلقة الخارجية.

من قطعـــة واحدة على الفور. فعلى مـــدى العقدين الماضيين تركزت معظم أبحاثي حـــول المبادئ العامة للتصميم المرن – بمعنى استنباط القوانين والنظريات التي يحتاجها المهندسون لتصميم وبناء **جهيـزات مطواعـة** compliant devices. لكننا قمنا، فـــي نهاية المطاف، بتصميم مسّـــاحة الزجاج الأمامي تلك. لقد اســـتخدمنا التصميم المرن في الواقع لبناء مكبرات حركة مصغرة وحيدة الشكل وأجنحة طائرات مرنة و**ثعابين إنسالية**[1] robotic snakes وآلات أخرى عديدة، تعبر كل منها عن مفهوم جديد للهندسة قد حان وقته.

آلات حية(*)

في حقيقـــة الأمر، نحن أكثر دراية بـــالآلات المطواعة مما قد نعتقد. وقد يكون القوس والنّشّاب أقرب وأبسط مثال على ذلك. فعندما يســـحب الرامي القوس، يتم تخزين الطاقة المرنة ببطء ومن ثم يجري إطلاقها بسرعة لدفع السهم. ويمكن استخدام هـــذه الآلية المرنة القوية مرات عديدة بالنجاح نفســـه والدقة. والمثال الأحدث لذلك هو غطاء زجاجة الشـــامبو، فهو جهيزة وحيدة الشكل تجمع بين غطاء ســـهل الفتح وطوق مسماري خالٍ مـــن المفاصل الميكانيكية. أما المثـــال الآخر، فهو الملقط الطبي الذي يســـتعمل لمرة واحدة والذي يستخدم على نطاق واســـع في المستشفيات، وهو من الدقة بما يؤهله للاستخدام في غرف العمليات، كما يسمح ثمنه الزهيد بالتخلص منه بعد كل استخدام.

يوجـــد في الطبيعة أكثـــر التصاميم المرنة نجاحا. فقد

(*) LIVING MACHINES

(١) robotic إنسالية، نسبة إلى إنسالة robot وهذه نحت من إنسان-آلي.



المؤلف

Sridhar Kota

‹**كوتا**› أستاذ كرسي هريِّك بالهندسة في جامعة مِتشيگان ومؤسس ورئيس الشركة FlexSys, Inc.

بدأت أدرك هذا في عام 1995، عندما شرعت في قراءة أعمال ‹S. ڤوگل› [عالم الأحياء الشهير في جامعة ديوك]. وفي كتب مثل «**جهيزات الحياة**»[1] و«**كفوف القطط والمقاليع**»[2] فـ‹ڤوگل› يوضح ببراعة طريقة عمل تصاميم الطبيعة، ويظهر أوجه التشابه بينها وبين **الجهيزات الهندسية**[3]. وتمتاز فروع الأشجار وأجنحة الطيور وسيقان سرطان البحر وخراطيم الفيلة كلها بأنها مرنة وقوية. أما مكوناتها، فإما أن تنمو من بعضها البعض، أو تكون مترابطة جنبا إلى جنب بروابط قوية ذاتية النمو خلافا لأنظمة التروس والزلاجات والنوابض. ويمكن لتلك الأنظمة المرنة الانحناء والاعوجاج والتمدد من خلال استغلال مرونتها الكامنة.

وعبر آلاف السنين تراكمت لدى بني البشر الكثير من الخبرة في تصميم هياكل قوية وصلبة كالجسور والمباني. وفي الغالب، إننا نفعل ذلك عن طريق استخدام المواد القوية والصلبة. فإذا تزايدت الضغوط، فإننا نضيف وببساطة المزيد من المواد لتوزيع الحمل أو لزيادة الصلابة. والصلابة ههنا أمر جيد ومحمود، في حين أن المرونة أمر سيىء. وفي الواقع، عندما يكون الحديث عن الهياكل الجامدة، فإن الانحراف - أو القابلية للتشوه أو التغير تحت الضغط - يعد أمرا مرغوبا في حالة التصميم المقاوم للزلازل فقط.

وفي المقابل، يتجاوب التصميم المطاوع مع الانحراف. فإذا ازداد تركيز الإجهاد كثيرا على نقطة مرنة ما، فإننا نجعلها أرق لا أسمك، ذلك لأن وظيفة البنية المطاوعة هي استغلال المرونة بوصفها وظيفة ميكانيكية أو حركية.

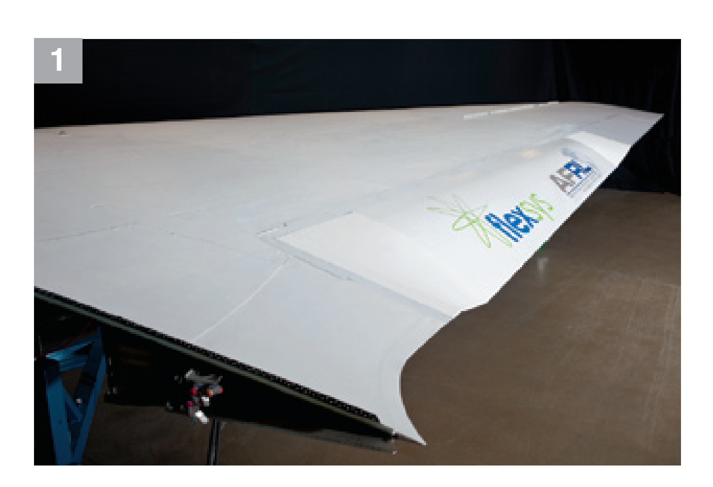
وفي حالة غطاء زجاجة الشامبو، يتركز الضغط على الجزء المبلمر الرقيق الذي يربط الغطاء بالقاعدة. وكما يتبع الملقطُ الطبي الرخيص الثمن التصميمَ ذاته. وعندما تتركز الضغوط في منطقة منفصلة رقيقة، يسمى الانثناء عندها **المطاوعة المركزة** lumped compliance. لقد عكف الباحثون على دراسة المطاوعة المركزة منذ خمسينات القرن الماضي. وفي الآونة الأخيرة، فإن ‹A. ميداء› [من جامعة ميسوري للعلوم والتقانة] و‹L. هويل› [من جامعة بريگهام يونگ] و ‹S. أوتان› [من جامعة مِتشيگان] و ‹M. L. كابيير› [من معهد ماساتشوستس للتقانة] قاموا جميعا بسلسلة من البحوث الممتازة حول هذا الموضوع، موضحين التطبيقات المختلفة للمطاوعة المركزة في الأدوات الدقيقة و**جهيزات التوضيع النانوي**[4].

وفي المقابل، فإن القوس والنشاب لا يحتوي على مثل هذه المناطق للانثناء المتموضع. فهو يضرب مثالا صريحا ورائعا «**للمطاوعة المتوزعة**» distributed compliance على مدى طوله بأكمله. وتعتبر هذه المطاوعة المتوزعة أمرا أساسيا لبناء الآلات المرنة التي تقوم بأعمال ثقيلة - كالأجنحة التي تُبقي على الطائرات في الجو، أو المحركات التي تعمل لملايين الدورات، على سبيل المثال. وعندما بدأت العمل في هذا المجال، لم أتمكن من العثور على أسس نظرية أو طرق عامة لتصميم أجهزة ذات المطاوعة المتوزعة. وكان ذاك هو المكان الذي ركزت فيه جهودي بطبيعة الحال، وهو المكان الذي لا يزال اهتمامي مركزا عليه.

بداية بشكل صغير(*)

بدأت العمل على آلات مرنة أحادية القطعة ليس لكونها أمرا جديدا وممتعا، بل لأن التصميم اللاتجميعي هو ضرورة قصوى في بعض التطبيقات. فقد عملت أولا في دراسة الأنظمة الميكانيكية الكبيرة مثل نواقل الحركة في السيارات. ولكنني وجدت نفسي في أوائل التسعينات أقوم بتصميم آلات صغيرة جدا - هي **أنظمة كهروميكانيكية ميكروية** (MEMS)[5]. وكان هذا متعلقا إلى حد كبير بظروف تلك الحقبة. فقد بدأت شركات الاتصالات للتو بتطوير مفاتيح بصرية لشبكات الألياف الضوئية؛ كان عليها استخدام محركات في غاية الصغر لتغيير زوايا المرايا بسرعة كبيرة، ومن ثم توجيه الإشارات الضوئية إلى اتجاه أو آخر. وبعد فترة ليست بالطويلة وبعد قراءتي لكتب ‹ڤوگل› واستكشافي لعالم التصميم المرن، بدأت في مشروع مع ‹S. روجرز› وفريقه في مختبر سانديا الوطني، **قسم الأنظمة الميكروية**

(*) STARTING SMALL
(١) *Life's Devices*
(٢) *Cat's Paws and Catapults*
(٣) engineered devices
(٤) nanopositioning devices
(٥) micro electromechanical systems







مع التصميم المرن، يمكن للأسطح المرنة القابلة للتشكيل أن تحل محل لوحات الجناح الجامدة (1)، ولإطارات مساحات الزجاج الأمامي أن تصب من قطعة واحدة من المواد (2)، ولقطعة واحدة من البلاستيك أن تقوم بعمل ما يقرب من الأربعة والعشرين جزءاً المشكّلة للدباسة التقليدية (3).

microsystems division، حيث بدت فكرة تصميم وحيد الشكل مناسبة جدا.

كان الباحثون في مختبرات ساندِيا محتاجين إلى بناء **محرك خطي**[1] يقدر على تقديم إزاحة كافية - بمقدار عشرة ميكرونات على الأقل. لكن قيود التصنيع للمحركات الكهروساكنة قلصت حركتهم بميكرونين فقط. كنت أعرف ببساطة تعذر تصغير تروس نقل الحركة مثلا. وحتى لو سلمنا بإمكانية العثور على شخص ذي أيد ثابتة بما فيه الكفاية لتجميع تروس و محاور ومفاصل ذات أبعاد في نطاق الميكرون والميكرونين، فإن الجهاز الناتج سيكون عديم الدقة بالنسبة إلى متطلبات الهندسة الحديثة. وتحتاج تقانة الأنظمة MEMS إلى دقة من مرتبة عُشر الميكرون لتصنيع ألعاب التركيب Tinkertoy. إلى جانب ذلك، تصنع جهيزات الأنظمة MEMS بطريقة **الدفعة** batch كما في **الدارات المتكاملة** integrated circuits، أي عشرات آلاف المكونات في منطقة بحجم ظفر إصبع. فقد قمت بتصميم مكبر حركة أحادي الشكل لتوليد حركة مقدارها عشرون ميكرونا إثر دمجه في المحرك الكهروستاتيكي.

وبحلول عام 1998 كان لدينا المحرك والمكبر يعملان بدقة وفعالية. ومازلت أذكرني واقفا في المختبر، متأملا بتعجب ذلك العنصر الصغير. لقد كان مستمرا بالعمل لأكثر من عشرة بلايين دورة من دون وجود علامات توقف في الأفق. لكن الأكثر إثارة للإعجاب في رأيي، هو أن مكبر الحركة بأكمله وبجميع تعقيداته و مرونته، كان مكَونا من قطعة واحدة فقط من السيليكون المتعدد البلورات.

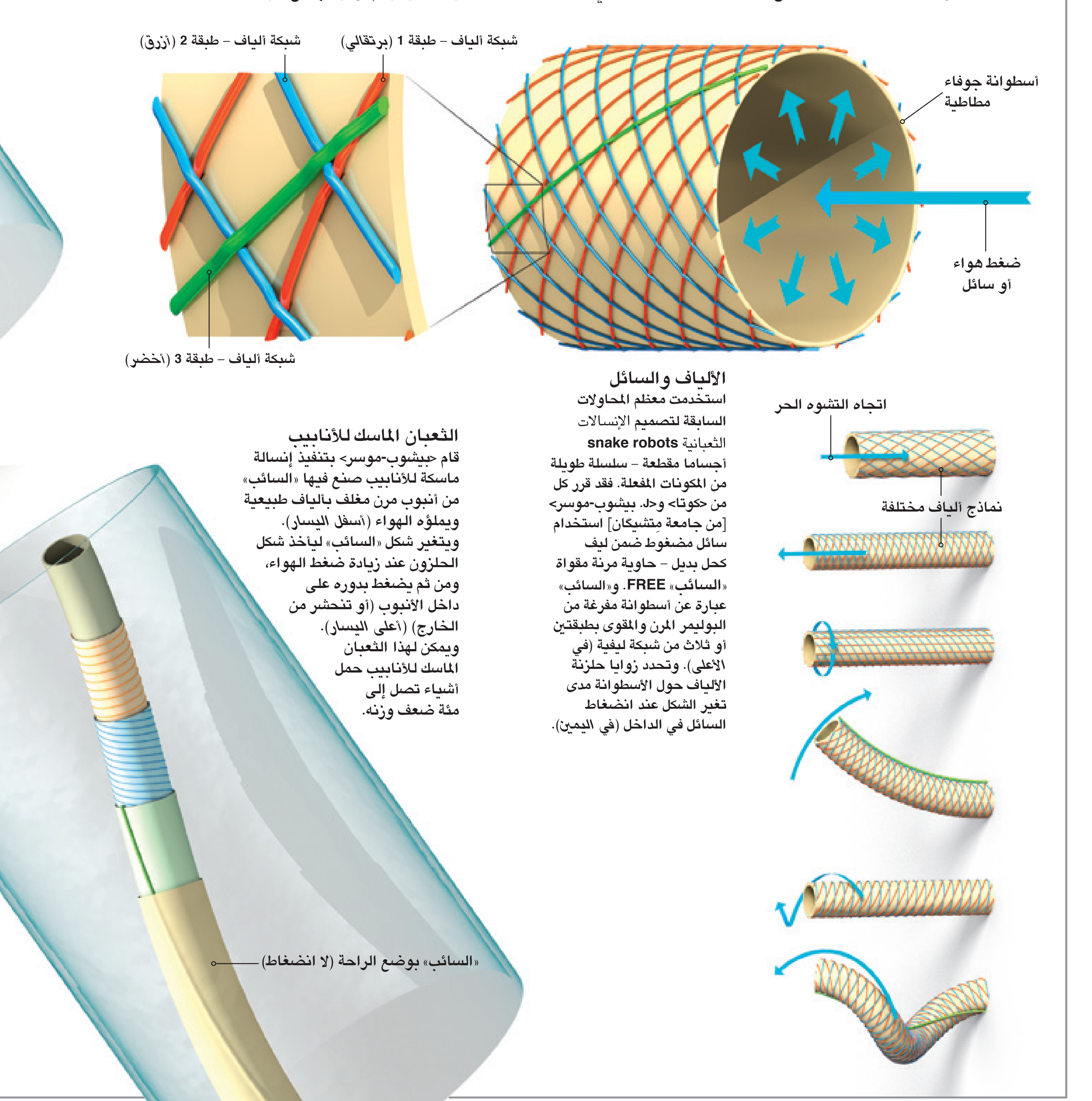
طائرات مرنة(*)

ومن بين جميع الأسباب التي اخترت من أجلها دراسة التصميم المطاوع، أجد الأكثر إلحاحا بينها هو تكيف الشكل، أو «**التحول**» morphing. وتمكن هذه القدرة على تغيير شكل الهيكل آنيا الآلات الطبيعية من العمل بأقصى قدر من الكفاءة. قارن، على سبيل المثال، هذه القدرة على التكيف السريع بمثيلاتها في عالم الهندسة الثابتة - القاطرة المحركة وأجنحة الطائرات والمحركات والضواغط والمراوح وغيرها. ونجد هذه الأجهزة وجميع الأجهزة الأخرى المصممة تقليديا تعمل بكفاءتها القصوى تحت ظروف محدودة للغاية، بينما يتراجع الأداء في الأوقات الأخرى. فالطائرة، على سبيل المثال، تتعرض لمجموعة متنوعة من ظروف الطيران لتصل من نقطة إلى أخرى. فهناك التغير في الارتفاع والسرعة بل وحتى الوزن - بفعل استهلاك الوقود؛ مما يعني أن الطائرة تعمل طوال الوقت تقريبا بكفاءة أقل من كفاءتها

(*) FLEXIBLE FLIERS
(1) linear motor

كيف تصنع ثعبانا إنساليا(*)

بالنسبة إلى الديدان والأخطبوطات والعديد من الرخويات الأخرى، لا يشكل عدم وجود هيكل عظمي جامد إعاقة تذكر: فيمكنها الحركة باستخدام السوائل اللزجة elastofluidics. وتتكون أجسامها من توليفة من الألياف النسيجية المتصلة ومن عضلات، تحيط بتجويف فيه سائل مضغوط. وتعتبر الألياف المتشابكة حلزونيا بمثابة مضادات لمقاومة ضغط السائل الناتج من تقلص العضلات، في حين يحدد اتجاه تشابك الألياف مدى الحركة. ويعكف المهندسون في جامعة مِتشيگان على تطوير الإنسالات robots استنادا إلى المبدأ نفسه. ويمكن أن تشمل التطبيقات العملية جهيزات تقويم العظام التي تساعد على الحركة، وإنسالات قادرة على التعامل مع الأشياء الدقيقة القابلة للكسر والتلف برقة شديدة، وهو ما يمكنها كذلك من العمل بأمان جنبا إلى جنب مع البشر.



الألياف والسائل

استخدمت معظم المحاولات السابقة لتصميم الإنسالات الثعبانية snake robots أجساما مقطعة – سلسلة طويلة من المكونات المفعلة. فقد قرر كل من <كوتا> و<د. بيشوب-موسر> [من جامعة مِتشيگان] استخدام سائل مضغوط ضمن ليف كحل بديل – حاوية مرنة مقواة «السائب» FREE. و«السائب» عبارة عن أسطوانة مفرغة من البوليمر المرن والمقوى بطبقتين أو ثلاث من شبكة ليفية (في الأعلى). وتحدد زوايا حلزنة الألياف حول الأسطوانة مدى تغير الشكل عند انضغاط السائل في الداخل (في اليمين).

الثعبان الماسك للأنابيب

قام <بيشوب-موسر> بتنفيذ إنسالة ماسكة للأنابيب صنع فيها «السائب» من أنبوب مرن مغلف بألياف طبيعية ويملؤه الهواء (أسفل اليسار). ويتغير شكل «السائب» ليأخذ شكل الحلزون عند زيادة ضغط الهواء، ومن ثم يضغط بدوره على داخل الأنبوب (أو تنحشر من الخارج) (أعلى اليسار). ويمكن لهذا الثعبان الماسك للأنابيب حمل أشياء تصل إلى مئة ضعف وزنه.

(*) How to Build a Robot Snake



الثعابين تنضم إلى القوى
نظرا لثبات طول وتوجيه ألياف «السائب الواحد»، فإنه يغير شكله بطريقة واحدة عند انضغاطه. فقد قام كل من <G. كريشنان> [من جامعة إلينوي في أوربانا-شامبين] و<بيشوب-موسر> بتنفيذ عدد من «السوائب» المرتبطة إلى بعضها؛ مما أتاح قدرا أكبر من الحركة (التفاصيل في اليمين). ويتخذ هذا العنصر المركب شكلا مختلفا تبعا «للسائب» المفعل. فقد لونت «السوائب» المضغوطة بلون مختلف عن غير المضغوط كما يوضح في السلسلة أدناه، الرمادي في حالة الراحة.

هل الإنسالات robots الناعمة قادمة؟
لاتزال الأبحاث المتصلة «بالسوائب» الخاصة بالإنسالات في بداية الطريق، لكن <كوتا> يزعم أن التطبيقات يمكن أن تتضمن الجهيزات الطبية وتفتيش الأنابيب وحتى خط إنتاج بإنسالات ناعمة وماهرة (في اليمين) قادرة على تناول منتجات هشة لاتستطيع الإنسالات الحالية القيام بها الآن.

القصوى. لكن الطيور، من ناحية أخرى، يمكنها أن تقلع وتحط وتحوم وتنقض بلا جهد يذكر بفضل تشكيل أجنحتها حسب الحاجة.

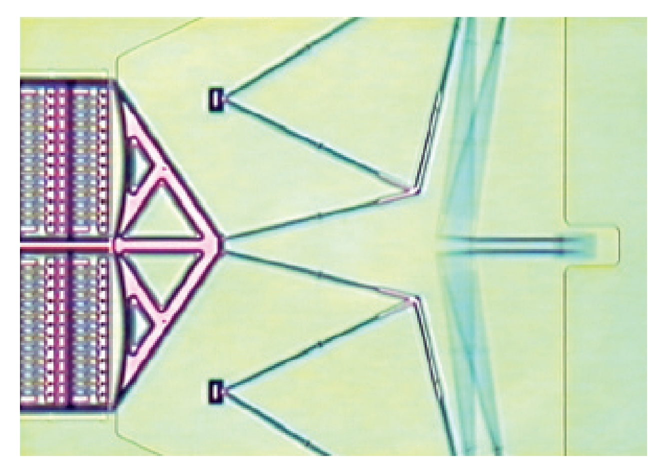
وفي منتصف التسعينات، تساءلتُ عما إذا كان أي شخص قد حاول تغيير شكل الجناح (**احديدابه** camber) أثناء الطيران لتحسين الأداء. وقد اكتشفت، ولدهشتي، أن الأخوين ‹رايت› اخترعا نوعا مختلفا من تحول أو تحريف الجناح في طائرتهما الأصلية. كما علمتُ لاحقا أن تغيير احديداب الجناح للتعامل مع مختلف ظروف الطيران في الطائرات الحديثة ظل هدفا بعيد المنال لعقود عدة. حتى جلست ذات ليلة عند طاولة غرفة الطعام وبدأت بالعمل على التصميم.

وبعد بضعة أشهر من دراسة الموضوع، لاحظت مقالا صغيرا في صحيفة يومية يتحدث عن بحث في الأجنحة المرنة قد أجري في أواخر الثمانينات بقاعدة ‹رايت-باترسون› الجوية في ولاية أوهايو. وكان المهندسون هناك يطلقون على هدفهم اسم **الجناح المتكيف مع المهمة** mission-adaptive wing. ولم يذكر المقال أي شيء عن نتائج بحثهم، لكنني تيقنت أن فكرة الجناح المتحول ليست بتلك الفكرة الحمقاء كما خشيت. ولذلك قمت بالاتصال بالباحثين والسؤال عما إذا كانوا يرغبون في التعرف على تصميمي، فكان الحماس الشديد هو رد فعلهم.

لقد أوضح الباحثون أن معظم المحاولات السابقة لبناء الجناح المتحول، إن لم يكن كلها، استخدم هياكل معقدة – آليات ثقيلة وجامدة مع العشرات من محركات التحكم القوية لجعل هيكل الجناح يتشكل وفقا لظروف الطيران. فعلى سبيل المثال، عدل المهندسون مرة جناح الطائرة المقاتلة F-111 باستخدام لوحات مرنة. وبالفعل، فقد أظهر الجناح المتكيف قدرات **أيروديناميكية** aerodynamic فائقة، لكن الهيكل كان ثقيلا ومعقدا بحيث أخرجه ذلك من دائرة التطبيق العملي.

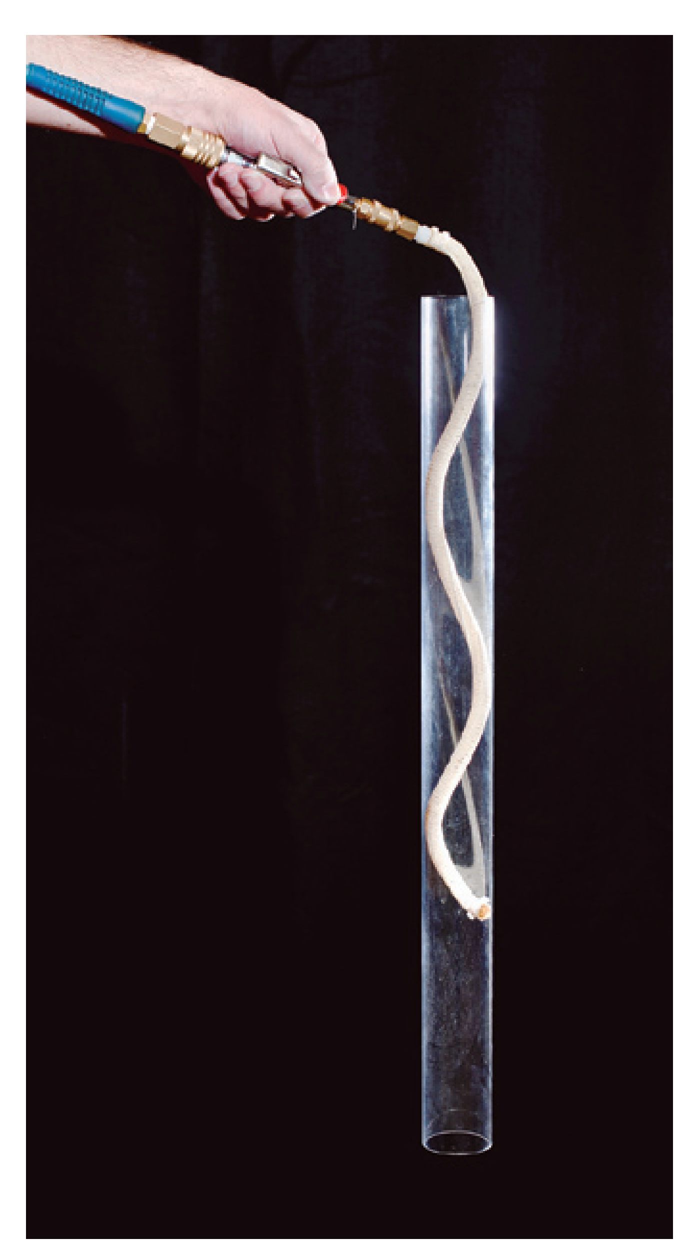
لم يفاجئني هذا الأمر كثيرا. فتصميم جناح عملي ذي هندسة متغيرة يتطلب تلبية العديد من المتطلبات المتعارضة. إذ يجب أن يكون الجناح خفيف الوزن وقويا بما يكفي لتحمل آلاف الكيلوغرامات الناجمة عن حمل الرياح، كما يتمتع بموثوقية عالية للعمل مئات الآلاف من الساعات، وأن يكون سهل التصنيع والصيانة وشديد التحمل لما قد يتعرض له من مواد كيميائية أو أشعة فوق بنفسجية، إضافة إلى التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة. لم تكن أدوات التصميم والبرمجيات المستخدمة في ذلك الوقت مهيأة لتصميم أو تصنيع آلات أحادية الشكل، تاركة التصاميم التي تتطلب الكثير من المتطلبات المتنافسة وحدها.

فقد استفاد تصميم الجناح المرن الذي قدمته إلى قاعدة ‹رايت-باترسون› من مرونة مكونات الاختبار التي كانت مواد صناعة الطيران والفضاء التقليدية. أما الجناح، فكانت له بنية داخلية يمكنها إعادة التشكل بسهولة استجابة لقوة مطبقة من محرك داخلي صغير، في حين ظل هذا الجناح قويا عند تعرضه لقوى خارجية شديدة في اختبار نفق الرياح. وأثار هذا التصميم كثيرا حماس كبار المهندسين في قاعدة ‹رايت-باترسون› كما أثار حماستي؛ مما دفعني في الشهر 2000/12 إلى تأسيس الشركة FlexSys لتطوير التطبيقات العملية للتصميم المتوافق.



بالنسبة إلى الآلات الصغيرة جدا، مثل مكبر الحركة الكهروميكانيكية هذا، يصبح التصميم الأحادي القطعة ضرورة من ضرورات التصنيع.

وبعد ست سنوات تخللها الكثير من التطوير وعدة اختبارات ناجحة داخل نفق الرياح، تمكنا من التوصل إلى نموذج من الجناح المرن وإلصاقه بالجانب السفلي لنموذج مصغر لطائرة مصنعة من **المواد المركبة** Scaled Composites سميت **الفارس الأبيض** White Knight، لإجراء اختبارات الطيران في صحراء موجافي. فقد ثبت الجناح تحت جسم الطائرة النفاثة، وجهز بالكامل لقياس معاملات الرفع والسحب أثناء الطيران. وقد تراوح معامل الرفع بين 0.1 و1.1 من دون زيادة في معامل السحب؛ ويترجم هذا إلى زيادة كفاءة الوقود بنسبة تصل إلى اثنتي عشرة في المئة لجناح مصمم لتحقيق الاستفادة الكاملة من **الجنيحات** flaps المرنة الجديدة. (إذا ما استخدمت الجنيحات المذكورة لتحديث وتعديل الأجنحة القائمة



تمثل **الهيدروستات hydrostats القابضة** على الأنابيب كالتي تظهر هنا إثباتا لصحة المفهوم، ويمكن أن يؤدي في النهاية إلى إنسالات ثعبانية لينة.

بالفعل؛ فمن شـأنها أن ترفع المردود بمقدار أربع في المئة أو أكثر.) وبما أن شركات الطيران الأمريكية تستهلك نحو ستة عشر بليون غالون من وقود الطائرات سنويا، فيمكن الجزم بأن النسب المذكورة، وإن بدت صغيرة، سيكون لها أكبر الأثر من حيث التوفير. إضافة إلى ذلك، يمتاز الجناح المعدل بأنه أكثر بساطة، مع غياب أي جزء متحرك في آلية التحول. ونتيجة لذلك، نحصل على ازدياد **الموثوقية** reliability ورفع نسبة الوزن إلى الاستطاعة.

سيأتي الاختبار الحقيقي لأجنحة الطائرات ذات الأشكال المتكيفة عندما تَحلُّ الأسطح القابلة للتحكم المرن محل الجنيحات التقليدية تماما. ونقوم حاليا بوضع اللمسات الأخيرة على مثل هذا المسعى. ومن خلال العمل مع مختبرات سلاح الطيران التابع للولايات المتحدة، تقوم الشركة FlexSys بتصميم وبناء سطح متصل ذي قابلية للانحناء (للاحديداب) والتقلب العرضي لتحسين الأداء الأيروديناميكي عند استخدامه في مكان جنيحات الحافة الخلفية المنتجة للسحب. كما زودنا طائرة خاصة برجال الأعمال من الطراز Gulfstream Aerospace GIII بأسطح مرنة من صناعتنا متغيرة الشكل والتحكم بدلا من الجنيحات التقليدية. كانت النتيجة، أنه إضافة إلى توفير كبير في استهلاك الوقود، فإنه من المتوقع أن يقلل تصميمنا من الضجيج الناتج من حركة الطائرة في الهواء. ووفقا لوكالة الفضاء الأمريكية، فإن المصدر الأعظم للضجيج الناجم عن هبوط الطائرات هو الدوامات الناتجة عند الحواف الحادة والفجوات بين اللوحات الخلفية للجناح والأجزاء الثابتة فيه. ومن أجل ذلك قمنا باستخدام أسطح انتقالية للقضاء على هذه الثغرات. ومن المقرر أن تجرى اختبارات الطيران في مركز ‹نيل أرمسترونج› لبحوث الطيران التابع لوكالة ناسا في الشهر 2014/7.

حابون وزاحفون(*)

في السنوات القليلة الماضية، وبالتعاون مع طلبة الدراسات العليا الذين أشرف عليهم، بدأت بإجراء أبحاث في التصميم المرن مستوحاة من الآلات الطبيعية الأكثر مرونة على الأرض، وهي الحيوانات الرخوية اللافقارية التي تخلو من الهياكل العظمية. وتمارس الحيوانات الأكثر غرابة فيها، مثل **الحلقيات** annelids و**الديدان الخيطية** nematodes، حياتها بطرق بدأنا مؤخرا بفهمها. في حين أن الأمثلة المعروفة أكثر، مثل الأخطبوطات، توفر نماذج مثالية يسعى إليها المهندسون المشتغلون بالتصميم المرن.

وعلى الرغم من افتقار الرخويات مثل الديدان والأخطبوطات إلى أي هيكل عظمي واضح، إلا أنه يمكنها أن تتحرك بقوة وسلاسة. إنها تفعل ذلك في الغالب من خلال ما يسمى **السوائل اللزجة** elastofluidics. وتصنف أجسامها هندسيا على أنها **هيدروستات** hydrostats – تتكون من توليفة من الألياف النسيجية المتصلة ومن عضلات تحيط بتجويف فيه سائل مضغوط. وتكشف الدراسة التشريحية لهذه المخلوقات عادة ترتيبا حلزونيا متشابكا من الألياف والعضلات تحيط بالأعضاء الداخلية، والتي بدورها تحتل اللب المملوء بالسائل. وتعتبر الألياف المتشابكة حلزونيا بمثابة مضادات لمقاومة

(*) CREEPERS AND CRAWLERS

ضغط السائل الناتج من انقباض العضلات، في حين يحدد اتجاه تشابك الألياف مدى الحركة.

تتعدد وجوه الهياكل العظمية الهيدروستاتيكية وطبيعتها في عالم الحيوان. فأذرع الأخطبوط ليست سوى هيدروستات ذوات عضلات قوية، بينما يحوي خرطوم الفيل عددا من الألياف العضلية مرصوصة بإحكام حول جسم هيدروستاتيكي. أما جلد ثعبان البحر المقوى بالألياف، فيمثل وترا خارجيا يتيح للحيوان توليد قوة دافعة عظيمة للسباحة.

لا تزال أبحاثنا في السوائل اللزجة بمراحلها الأولى، لكن رهاننا على هذه العناصر يتمثل بإمكانية أن تكون بمثابة جهيزات لبناء «**الإنسالات الناعمة**» soft robots وغيرها من الجهيزات التي يمكنها التفاعل مع البشر والبيئة بسلام. ومع ذلك، فمن المرجح أن تكون أقرب التطبيقات في مجال تقويم الأعضاء. فعلى سبيل المثال، فإن المرضى الذين يعانون انكماش الذراع الناجم عن تصلب العضلات وتشوه المفاصل أو صلابتها، يمكنهم استخدام جهاز تقويم العظام المرن الذي يعيد ذراعهم بلطف إلى موضع مفيد للأنشطة اليومية.

مطاوعة محل تقدير(*)

أثمرت نتائج الأبحاث الأساسية التي بدأناها في عام 1993 بمساعدة العديد من طلبة الدراسات العليا الموهوبين في مختبر تصميم النظم المطاوعة بجامعة مِتشيگان، مجموعةً نفيسة من الرؤى وأساليب التصميم المنهجية. ويقوم هؤلاء الطلبة الآن بالعمل من تلقاء أنفسهم على تصاميم مرنة في جامعة ولاية پنسلڤانيا وجامعة إلينوي في أوربانا-شامپين وجامعة إلينوي في شيكاغو وجامعة بوكنل ومختبر الدفع النفاث التابع لناسا ومختبرات ساندِيا الوطنية ومختبر أبحاث سلاح الطيران وKLA-Tencor وشركة فورد للسيارات والشركة FlexSys، إضافة إلى الشركتين Raytheon وIntel. كما تقترب بعض الجهيزات التي طورناها على مدى السنين الفائتة من التسويق بفضل المهندسين الموهوبين في الشركة FlexSys. فقد أكملنا الاختبارات المناخية لإطار مساحة الزجاج الأمامي الوحيد الشكل وانتهينا من قالب الإنتاج له، والمناقشات جارية مع شركات صناعة السيارات والموردين لاستخدامها كمساحة للزجاج الخلفي. ويتم تصنيع هذه المسّاحة الوحيدة الشكل من البوليمر اللدن بالحرارة، المتلئ بالزجاج؛ مما يجعلها تعمل بشكل صحيح في كل الظروف الجوية، الشديدة البرودة والحرارة. إنها لن تنكسر أو تنثني حتى في حالة نفض الجليد والثلوج عنها بقوة. أما فيما يخص التسويق، فإن هذه المسّاحة ذات عمر أطول و موثوقية أكبر وتكلفة تصنيع أقل مقارنة بمثيلاتها المنافسات لها.

أما أجنحة الطائرات المرنة، فهي جاهزة من الناحية الفنية للتسويق التجاري منذ الآن. وإن استبدال الخمس عشرة في المئة من الجزء الخارجي للرفرف المستخدمة حاليا **في الجنيحات الجزئية** subflaps المطاوعة الشكل سيوفر وحده خمساً في المئة من وقود الطائرات في وضعية ضبط المسار فقط. أما استبدال الرفرف بكامله بأسطح مرنة ناعمة ومتغيرة، فسوف يوفر نحو اثنتي عشرة في المئة من الوقود المستخدم في التصاميم الجديدة. قد نضطر إلى الانتظار سنة أو سنتين للحصول على ترخيص من إدارة الطيران الاتحادية، ولكن بمجرد اكتساب ثقة الصانعين بالأجنحة المرنة، يمكننا الترجيح بأنها ستحل تماما محل اللوحات المثبتة في الطائرات ذات الأجنحة الثابتة بجميع أنواعها في المستقبل القريب.

وتكثر الحالات التي يمكن للتصميم المرن أن يقلل إلى حد كبير عدد الأجزاء المستخدمة في أي جهاز وذلك في قطاعات السيارات والأجهزة المنزلية والطبية والبضائع الاستهلاكية. لذا، فالتحدي الأكبر هو إيصال هذه المعلومة إلى المصممين الصناعيين. واتساع نطاق الاستخدام للمنتجات الجديدة مثل مساحة الزجاج المطاوعة يسهم في جعلها حجة لصالح التصميم المرن. وعلى الرغم من ذلك، لا يزال أمر البرمجيات يشكل تحديا؛ فلا يوجد حاليا أي أداة برمجية سهلة الاستخدام لاستكشاف ومحاكاة التصاميم المرنة. ولكن من خلال عقد مع مؤسسة العلوم الوطنية (NSF)، تقوم الشركة FlexSys بتطوير برمجيات تتوافق مع تلك الرؤى.

سوف يستغرق الأمر عدة سنوات لكي يصل التصميم المرن إلى حالة من القبول بدرجة معقولة. لكننا نرى أن اعتماده على نطاق واسع أمر لا مفر منه. فالقوة والدقة والبراعة والكفاءة التي تعطيها المرونة، ستتيح للمهندسين في العديد من المجالات مجموعة جديدة تماما من الأدوات لاستخدامها، وقريبا سوف نبدأ جميعا بفهم وتقدير القوة الكامنة في كون الشيء مرنا. ■

(*) COMPLIANCE IS APPRECIATED

مراجع للاستزادة

Better Bent Than Broken. Steven Vogel in *Discover*, pages 62–67; May 1995.

Scientific American, May 2014

منها من قبل فريق خبراء يضم الباحثين والمعلمين وإدارات المدارس معا. وتقول ‹كورنر› [أستاذة علم النفس وأحد أعضاء فريق الرياضيات الأول ومديرة مدرسة كارنيگي ميلون للأطفال] إن المبادئ التطبيقية يمكنها أيضا توجيه البحوث المستقبلية. وهي تحثّ طلبة الدراسات العليا على الاطلاع على المبادئ التي ترتبط بمجالهم والبحث عن المجالات التي تحتاج إلى المزيد من الاستكشاف.

هذا وإن كل مسألة من مسائل البحث هي بمثابة محاولة لإدماج قطعة أخرى من أحجية كبيرة جدا في مكانها المناسب. وفي هذا الصدد يقول ‹J. مرلينو› [رئيس شراكة القرن الحادي والعشرين لمبادرة تعليم العلوم والتقانة والهندسة والرياضيات (STEM)، وهي منظمة لا تستهدف الربح في ضواحي فيلادلفيا]: «لا أظن أنه بالإمكان النظر إلى التعليم من الزاوية المتعلقة بإمكانية تحقيق النتائج الناجحة أم لا، كما لو أنه مصباح كهربائي. ولا أعتقد أن المعرفة البشرية هي كذلك... ففي العصر الآلي تعودنا على التفكير في الأشياء بطريقة آلية. هل تعمل؟ وهل يمكن إصلاحها؟ ولا أعتقد أنه في وسعنا إصلاح التعليم كإصلاح نبتة طماطم، إننا نزرعه ونعتني به.»

وقد قامت منظمة ‹مرلينو› بإدارة دراسة مقارنة عشوائية مدتها خمس سنوات مموّلة من المعهد IES بشأن فعالية تطبيق المبادئ الأربعة للعلوم المعرفية على تعليم العلوم في المدارس المتوسطة. فتم تخصيص مناهج دراسية معدلة أو غير معدلة بشكل عشوائي لما مجموعه 180 مدرسة في بنسلفانيا وأريزونا. واستند جزء من الدراسة إلى أبحاث العلوم المعرفية بشأن الطريقة التي يستفيد بها الناس من الأشكال والصور. ويقول ‹مرلينو› إن الباحثين أدركوا أن بعض الأشياء التي قد يضعها مصمّمو الرسوم البيانية – مثل كثرة الألوان – يعمل عمليا على تشتيت الانتباه عن التعلم. كما وجد الباحثون أن الطلبة بحاجة إلى تعليمات لدى قراءة الأشكال البيانية. ويمكن إدراج هذا النوع من النتائج في تصميم الكتب الدراسية الجديدة. وقد يقضي المعلمون مدة طويلة في شرح وتعليل معنى الرموز المختلفة الواردة في شكل ما مثل الأسهم والأشكال المقطعية.

إن جعل المعلمين والمربين جزءا مهما من عملية البحث يسفر أيضا عن نتائج يمكن إدخالها في الصفوف الدراسية. وغالبا ما يشعر المعلمون بأن الخبرة التي اكتسبوها من تجاربهم يتم تجاهلها وأنهم يُعطون بدلا من ذلك كل بضع سنوات منهاجا جديدا يفترض أن يقوم على الأدلة والبراهين دون شرح السبب الذي جعل المنهاج الجديد أفضل من سابقه بكثير. كما أن الباحثين لم يشعروا بوجه عام في الماضي بأن من واجبهم شرح عملهم للمعلمين. وهذا أمر آخذ في التغيير، كما تقول ‹N. نيوكومب› [أستاذة علم النفس في جامعة تيمبل والمحقق الرئيسي لمركز عمليات التعلم والمعلومات المكانية]. فهي تقول: «في اعتقادي أن الناس أخذوا يعون بالفعل فكرة أنك إذا اقتطعت منهم الضريبة الاتحادية، فيفترض بك أن تشاركهم في معرفتك.»

يمكن لتبادل المعرفة أن يجري بالاتجاهين. ففي الدراسة المتعلقة بالمنهاج العلمي في بنسلفانيا وأريزونا، كان المعلمون يشاركون في التصميم الأولي للتجارب، «وكانوا بمثابة معلمين كبار، فهم يدرّسون ويقدمون إلينا الملاحظات والردود،» على حد قول ‹نيوكومب›. ولأن الدراسة تمت في مدارس فعلية بدلا من المختبر، فقد كان الباحثون يدربون معلمي الصفوف بموازاة التقدم في العمل.

ويشير باحثون آخرون إلى النموذج الفنلندي الذي تشكل فيه النظريات التربوية ومنهجيات البحث والممارسات جزءا مهما من تعليم المعلمين، وفقا لما ذكره ‹P. سالبيرگ› الذي وضع في عام 2011 «**دروسا فنلندية**»[(1)]، وهي شرح يبين كيف تمكنت البلاد من إعادة بناء نظامها التربوي والارتقاء به إلى طليعة الدول في الرياضيات ومعرفة القراءة والكتابة. وبطريقة أو بأخرى، يعتبر أن المقارنة بالمدارس الأمريكية غير منصفة لأن فنلندا بلد يتسم بقدر أكبر من التجانس. لكن ‹نيوكومب› تعتقد أن تدريب المعلم الأمريكي ينبغي أن يتضمن آخر التطورات المستجدة في العلوم المعرفية. وتقول إنه في الكثير من برامج تعليم المعلمين يتم «تعليم الطلبة مادة علم نفس متخلفة عن الوقت الحاضر ليس بمدة عشر سنوات فحسب بل بمدة قد تصل إلى أربعين عاما.» ويمكن لهذه الخبرة الأساسية أن تساعد المعلمين على تقييم أهمية البحوث الحديثة وإيجاد طرق لإدخالها في صفوفهم. وتقول ‹نيوكومب›: «لا يمكنك فعلا أن تكتب نصا عن كل ما يحدث في الصف الدراسي. وإذا كان لديك بعض المبادئ في ذهنك بشأن ما تقوم به في تلك اللحظات الخاطفة، فأنت تقوم بعملك بشكل أفضل.» ■

(1) Finnish Lessons

مراجع للاستزادة

Visual Environment, Attention Allocation, and Learning in Young Children: When Too Much of a Good Thing May Be Bad. Anna V. Fisher et al. in *Psychological Science*. Published online May 21, 2014.

Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering and Mathematics. Scott Freeman et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 111, No. 23, pages 8410–8415; June 10, 2014.

Scientific American, August 2014

حماية البيانات الكبيرة من نفسها[*]

خطة ثلاثية الخطوات لاستخدام البيانات بشكل صحيح في عصر تجاوز الحكومات.

<A. "S". بنتلاند>

على مدى العقود القليلة الأولى من وجودها، كانت وكالة الأمن القومي (NSA)[1] دائرة هادئة لها وظيفة أساسية واحدة هي: مراقبة الاتحاد السوڤييتي. فقد كان عدوها وحيدا ومحددا بوضوح. وكانت أدواتها الرئيسة عمليات التنصت على الهواتف، وطائرات التجسس والميكروفونات المخفية.

تغير كل ذلك بعد هجمات الحادي عشر من سبتمبر. وأصبح العدو الرئيس للوكالة NSA شبكة منتشرة من الإرهابيين المستقلين. فأي شخص في العالم يمكن أن يكون هدفا مشروعا للتجسس. كما أن طبيعة التجسس نفسها قد تغيرت مع انتشار قنوات الاتصال الرقمية الجديدة. ومع بداية النمو المطرد لأجهزة الهواتف النقالة المتصلة بالإنترنت لم تعد الأدوات القديمة للوكالة NSA كافية على ما يبدو.

واستجابة لذلك، تبنت الوكالة NSA استراتيجية جديدة هي: جمع كل المعلومات. وعلى حد تعبير مدير الوكالة NSA السابق <K. ألكسندر>، عندما تبحث عن إبرة في كومة قش، فأنت بحاجة إلى كومة القش برمتها. فقد بدأت الوكالة NSA بجمع كم هائل من تسجيلات المكالمات الهاتفية التي يجريها بالفعل كل شخص تقريبا في الولايات المتحدة الأمريكية؛ وسرعان ما بدأت بتجميع البيانات الكبيرة حول مجمل الرسائل التي يتم تبادلها على الإنترنت عن طريق الأشخاص جميعهم تقريبا خارج الولايات المتحدة. ولم يمضِ وقت طويل حتى بدأت الوكالة NSA بجمع كمية من البيانات كل ساعتين تعادل في حجمها التعداد السكاني للولايات المتحدة.

وكان المكان الطبيعي بالنسبة إلى الوكالة NSA لتخزين كومة القش الجديدة الهائلة هذه هو المكان ذاته الذي كانت تخزن فيه على الدوام المعلومات الاستخباراتية: في المرافق الآمنة الخاصة بالوكالة. بيد أن هناك عواقب لهذا التجميع المركز للبيانات في مكان واحد. فقد أصبحت فجأة المعلومات الشخصية الخاصة بجميع البشر تقريبا في كل أنحاء العالم في متناول أي محلِّل يعمل لدى الوكالة NSA إذا ما رغب في الاطلاع عليها. وتخزينُ البيانات أيضا جعل الوكالة NSA معرضة أكثر من أي وقت مضى للتسريبات. أحد المقاولين التابعين للوكالة NSA حينها، <E. سنودن>، الذي أغضبه الحجم الهائل لأنشطة جمع البيانات السرية التي تقوم بها الوكالة NSA، تمكن من تحميل آلاف الملفات السرية من أحد خوادم الوكالة في هاواي، وطار إلى هونگ كونگ وسلّم الوثائق إلى الصحافة.

كانت البيانات حول السلوك البشري، مثلما هي الحال مع معلومات التعداد السكاني، ضرورية لعمل كل من الحكومة والصناعة. ولكن أن تقوم وكالة سرية بجمع البيانات عن مجمل السكان، وتخزين تلك البيانات في مجموعات خوادم سرية، وتعمل عليها بقليل من الإشراف أو من دون إشراف هو أمرٌ يختلف نوعيا عن أي شيء سبق ذلك. ليس من المستغرب، إذن، أن تثير إفصاحات <سنودن> مثل هذا

باختصار

لطالما كانت **البيانات حول السلوك البشري** ضرورية لعمل كلٍّ من الحكومة والصناعة. ولكن كيف نُمكن المؤسسات من جمع وتحليل البيانات دون إساءة استخدام تلك المعلومات؟

يمكننا البدء بتبني بعض المبادئ الأساسية. وينبغي على وكالة الأمن القومي (NSA)[1] والمنظمات الحكومية الأخرى أن تترك البيانات الكبيرة منتشرة في قواعد بيانات منفصلة عن بعضها وظيفيا وتشرف عليها منظمات مستقلة. وينبغي على كل من يحتفظ بالبيانات الشخصية أو يشاركها، بمن في ذلك المواطنين، أن يحمي عمليات نقل وتخزين المعلومات عن طريق التشفير.

في العصر الرقمي، يتعين علينا أيضا أن ندرك أن السياسة القائمة والتقاليد المتبعة لن تكون كافية. فالسبيل الوحيد لمعرفة الأساليب الناجعة هو من خلال التجريب الشفاف والمتواصل في إجراءات التعامل مع البيانات الكبيرة.

(*) Saving Big Data from Itself
(1) the National Security Agency



المؤلف

Alex “Sandy” Pentland

يدير <**پنتلاند**> مختبر الديناميكية البشـرية التابع لمعهد ماساتشوستس للتقانة (M.I.T)[1] ويشـارك في إدارة مبادرات البيانات الكبيرة والبيانات الشخصية للمنتدى الاقتصادي العالمي. وقد نُشـر كتابه الأخير، «الفيزيـاء الاجتماعية»[2]، في الشهر 2014/1 عن طريق دار النشر "بنگوين پرس" Penguin Press.

الجدل العام الساخط.

وحتـى الآن ينْصـبُّ جُل التعليقات حول أنشـطة جمع البيانـات للوكالة NSA على الأبعاد الأخلاقية والسياسـية. ولم يولَ سـوى اهتمـام ضئيل للجوانـب الهيكلية والتقنية لكارثـة الوكالة NSA. وليسـت فقط السياسـات الحكومية لجمع واسـتخدام البيانات الكبيرة غير ملائمة، ولكن أيضا عمليـة صناعة وتقييم تلك السياسـات بحاجة إلى التحرك بشـكل أسـرع. ويجب أن تتكيف الممارسات الحكومية مع السـرعة التي تتطور بها التقانة. فلا توجد إجابة بسـيطة، ولكن بإمكان مجموعة قليلة من المبادئ الأساسية أن تضعنا على الطريق الصحيح.

الخطوة

1

بعثرة كومة القش

كان <ألكسـندر> مخطئا حول البحث عن إبرة في كومة قش. فأنـت لا تحتاج إلى كومة القـش برمتها - وإنما إلى المقدرة فقـط على فحص أي جـزء منها. فتخزين كميـات هائلة من المعلومات في مكان واحد ليس أمرا غير ضروري فحسـب، وإنما هو من الخطورة بمكان بالنسبة إلى كل من الجواسيس والأشخاص المتجسـس عليهم على حد سواء. وبالنسبة إلى الحكومات، تصبح إمكانية التسـريبات الهدَّامة مرجَّحة أكثر بكثير. أما بالنسـبة إلى الأفراد، فإنه توجد إمكانية لارتكاب انتهاكات غير مسبوقة لمسألة الخصوصية.

تشـير الإفصاحات التي عرضها <سـنودن> بوضوح إلى أن المعلومـات التي في حوزة الحكومـة أصبحت مركزة أكثر مـن الـلازم. وينبغي علـى الوكالـة NSA والمنظمـات الحكومية الأخرى إبقاء البيانات الكبيـرة فـي مكانها، بحيث تشـرف عليها المنظمة التي أنشـأت قاعـدة البيانـات، مع مخططـات **تشـفير** encryption مختلفـة. ويجـب أن يتم تخزين الأنـواع المختلفـة مـن البيانات بشـكل منفصـل: البيانـات المالية في قاعدة بيانات فعلية واحدة، والسجلات الصحية في قاعدة بيانات أخرى، وهلم جرا. ويجب أن يتم تخزين المعلومات عن الأفراد والإشراف عليها بشكل منفصل عن الأنواع الأخرى مـن المعلومات. والوكالـة NSA أو أي كيانات أخرى ممن لها أسباب قانونية وجيهة للقيام بذلك ستبقى قادرة على فحص أي جزء من كومة القش المنتشـرة على نطاق واسع. فهي ببساطة لن تحتفظ بكومة القش بكاملها في موقع خادم واحد.

أسـهل طريقة لإنجـاز عملية تفكيك هـذا التجمع هي بوقف اختزان المعلومات. لنفسح المجال لشركات الاتصالات وشـركات الإنترنت أن تحتفظ بسجلاتها. ولا يوجد أي داعٍ للعجلـة في تدمير مخـازن البيانات الحاليـة الموجودة لدى الوكالـة NSA، لأن كلاًّ من محتوى تلك السـجلات والبرامج المرتبطة بها سوف يصبح عاجلا قديما لا قيمة له.

قد يكـون من الصعب أن نتصور أن تقـوم الوكالة NSA بالتخلي عن أنشـطتها في جمع البيانـات - وفي الواقع، لن يحدث هذا الأمر دون أن يصدر تشريع أو أمر تنفيذي بذلك - ولكن القيام بذلك سوف يصبُّ في مصلحة الوكالة ذاتها. ويبدو أن الوكالة NSA تُدرك هذا الأمر أيضا. وفي كلمة ألقاها نائب وزير الدفاع حينها <B .A. كارتر> في منتدى «الأمن» الذي أقيم الصيف الماضي في مدينة آسـپن بولاية كولارادو الأمريكية، شَـخَّص فيها مصدر المشـكلات التي تعاني منهـا الوكالة NSA. «جاء الفشـل [من تسـريبات <سنودن>] جرّاء شكلين من الممارسـات تقوم بهما الوكالة ونحن بحاجة إلى الانكفاء عنهما... كانت هناك كمية هائلة من المعلومات المجمعة بشكل

(١) the M.I.T. Human Dynamics Laboratory

(٢) Social Physics

مركز في مكان واحد. وهذا خطأ». وثانيا، «كان هناك شخص واحد أعطيت إليه صلاحيات كبيرة جدا للوصول إلى تلك المعلومات ونقلها. ولم يتوجب أن يكون الأمر على هذا النحو أيضا». إن قواعد البيانات الموزَّعة والمشفَّرة التي تعمل على أنظمة حواسيب مختلفة لن تجعل نمط «سنودن» للتسريب أكثر صعوبة فحسب، وإنما سوف توفر أيضا الحماية ضد الهجمات الإلكترونية من الخارج. فأي محاولة للاستفادة من المعلومات لن ينجم عنها على الأرجح سوى الوصول إلى جزء محدود جدا من قاعدة البيانات بأكملها. وحتى الحكومات الاستبدادية سوف تستفيد من توزيع البيانات: فالبيانات المجمَّعة بشكل مركز يمكن أن تُسهِّل على المطلعين من داخل المؤسسة القيام بانقلاب.

كيف يمكن أن تساعد عملية توزيع البيانات على حماية الخصوصية الفردية؟ تكمن الإجابة في أنها تُمكِّن من تتبع أنماط الاتصال بين قواعد البيانات ومشغليها من البشر. فكل فئة من عملية تحليل البيانات، سواء كانت عملية بحث عن مادة معينة أو إجراء حساب لإحصائية ما، لها نمط اتصال مميز خاص بها - أي توقيعها الخاص على شبكة الإنترنت للروابط وعمليات الإرسال بين قواعد البيانات. وهذه التواقيع، أي **دليل المعلومات التوضيحية حول البيانات الخلفية**[(١)] metadata about metadata، يمكن استخدامها في مراقبة الأنماط العامة للاتصالات مع الاحتفاظ بخصوصيتها.

لنأخذ في الاعتبار هذه المقارنة: عندما تكون أنماط الاتصال بين مختلف الإدارات في شركة ما مرئية (كما هي الحال مع البريد العادي)، فإن أنماط العمليات العادية تكون مرئية للموظفين في تلك الشركة علما بأن محتوى العمليات (محتوى الرسائل البريدية) يظل محجوبا. فعلى سبيل المثال، لو لاحظ الشخص المسؤول عن حفظ السجلات الصحية للموظفين بأنه تم الاطلاع بشكل مفاجئ على عدد غير طبيعي من تلك السجلات الخاصة من قبل مكتب السجلات المالية، لكان بإمكانه أن يطلب تفسيرا لذلك. وبالطريقة ذاتها، فإن هيكلة عمليات البيانات الكبيرة بشكل يولِّد معلومات توضيحية عن البيانات الخلفية تجعل عملية الرقابة ممكنة. ويمكن لشركات الاتصالات تتبع ما يحدث لها. ويمكن للمؤسسات المدنية المستقلة، وكذلك الصحافة، أن تستخدم هذه البيانات لتقوم بوظيفة هيئة رقابية على الوكالة NSA. ومع دليل المعلومات التوضيحية حول البيانات الخلفية، يمكننا أن نفعل مع الوكالة NSA ما تفعله هي مع كل شخص آخر.

الخطوة

2

تقوية خطوط إرسال البيانات لدينا

إن إزالة المخزون الهائل للبيانات لدى الوكالة NSA ليست سوى الخطوة الأولى نحو ضمان الخصوصية في عالم غني بالمعلومات. ولعل حماية عملية نقل وتخزين المعلومات عبر التشفير لا تقل أهمية عن ذلك. فمن دون مثل وسائل الحماية هذه، يمكن اختلاس البيانات من دون أن يعلم أحد بذلك. وهذا الشكل من أشكال الحماية مطلوب على نحو خاص في عالم ترتفع فيه معدلات الجرائم الإلكترونية ومخاطر الحرب الإلكترونية.

كل من يستخدم البيانات الشخصية، سواء كان جهة حكومية، أو مؤسسة خاصة أو فرد، ينبغي أن يتَّبع بعض القواعد الأمنية الأساسية. وينبغي أن يتم التبادل الخارجي للبيانات فقط بين نظم البيانات التي تتمتع بمعايير أمنية مماثلة. ويجب أن تتطلب كل عملية خاصة بالبيانات سلسلة موثوقة من إثباتات الهويّة بحيث يمكننا معرفة مصدر البيانات ووجهتها. وينبغي أن تخضع جميع المؤسسات لرقابة دليل المعلومات التوضيحية والتدقيق التحقيقي، على غرار الطريقة التي تتم فيها اليوم مراقبة بطاقات الائتمان لاكتشاف عمليات الاحتيال.

أحد النماذج الجيدة هو ما يسمى **شبكة الثقة**[(٢)]. وتشمل شبكات الثقة شبكة حاسوب تتابع كل التصاريح التي يقدمها المستخدم لكل جزء من البيانات ضمن إطار قانوني يحدد ما هو مسموح به وما هو محظور التعامل به بالنسبة إلى هذه البيانات - ويحدد العواقب في حال وقوع انتهاك لهذه التصاريح. ومن خلال المحافظة على تسلسل تاريخي غير قابل للعبث به للتصاريح ومصادرها، يمكن مراجعة وتدقيق شبكات الثقة بشكل آلي لضمان أن هناك التزام بالاتفاقيات الخاصة باستخدام البيانات.

وقد أثبتت الإصدارات الراسخة من شبكات الثقة بأنها آمنة ومتينة على حد سواء. وأشهر هذه الشبكات هي **شبكة جمعية الاتصالات السلكية واللاسلكية المالية العالمية بين المصارف «سويفت»** (SWIFT)[(٣)] التي يستخدمها نحو 10 000

(١) مصطلح metadata يعني دليل المعلومات أو المعلومات التوضيحية مثل تلك الموجودة في بطاقات فهرس المكتبات العامة التي تحتوي على معلومات عن الكتب ومؤلفيها وغيرها من المعلومات.

(٢) trust network

(٣) the Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication

مع دليل المعلومات التوضيحية حول البيانات الخلفية، يمكننا أن نفعل مع الوكالة NSA ما تفعله هي مع شخص آخر.

مصرف ومنظمات أخرى لتحويل الأموال. وإحدى أكثر المزايا المميزة لشبكة سويفت هي أنها لم يسبق اختراقها على الإطلاق (على حد علمنا). وعندما سُئِل عن سبب سطوه على المصارف، يقال إن العقل المدبر <W. ساتون> أجاب: «لأن هذا هو المكان الذي توجد فيه الأموال». واليوم شبكة «سويفت» SWIFT هي الموقع الذي توجد فيه الأموال، إذ يتم تحويل آلاف البلايين من الدولارات يوميا عبر هذه الشبكة. وبسبب أنظمة التدقيق الآلي والمراقبة لدليل المعلومات التوضيحية المصممة داخلها والمسؤولية المشتركة، لم تتخلص شبكة الثقة هذه من اللصوص فحسب، وإنما كفِلت بكل ثقة وصول الأموال إلى الجهة المُرْسلة إليها.

لقد كانت شبكات الثقة معقدة ومكلفة التشغيل، ولكنها أصبحت بفضل تدني تكاليف قدرة الحوسبة في متناول المنظمات الأصغر حجما وحتى في متناول الأفراد. وقد ساعد فريق البحث الذي يعمل معي في معهد ماساتشوستس للتقانة (M.I.T.)[1]، بالشراكة مع المعهد Institute for Data Driven Design، على بناء نظام يسمى openPDS (مخزن البيانات الشخصية المفتوح)، وهو نظام من هذا النوع خاص بالمستهلك. والفكرة من وراء هذه البرمجية، التي نقوم حاليا باختبارها مع مجموعة متنوعة من شركائنا من الشركات الصناعية والحكومية، هي دمقرطة أمن البيانات على مستوى شبكة سويفت بحيث يصبح بمقدور الشركات التجارية والمؤسسات الحكومية المحلية والأفراد تبادل المعلومات الحساسة بشكل آمن – بما في ذلك السجلات الصحية والمالية. وقد بدأت حكومات عدة ولايات في الولايات المتحدة الأمريكية بإجراء تقييم لهذا التصميم من أجل خدمات تحليل البيانات الداخلية والخارجية على حد سواء. ومع انتشار استخدام شبكات الثقة على نطاق واسع، ستصبح عملية نقل البيانات بين الأفراد والمؤسسات أكثر أمانا؛ مما يسهِّل من عملية تنفيذ تصاميم تخزين البيانات الموزعة والآمنة التي تحمي الأفراد والمؤسسات من إساءة استخدام البيانات الكبيرة.

الخطوة

3

على الإطلاق، لا يجب التوقف عن إجراء التجارب

الخطوة الأخيرة وربما الأكثر أهمية بالنسبة إلينا هي أن نعترف بأننا لا نمتلك الإجابة عن جميع التساؤلات، وأنه لا توجد، في واقع الأمر، إجابات نهائية. وكل ما نعلمه علم اليقين هو أنه مع تغير التقانة، لا بد من إجراء تغييرات في الهياكل الرقابية الموجودة لدينا. وهذا العصر الرقمي هو شيء جديد تماما؛ فلا يمكننا الاعتماد فقط على السياسة الحالية أو التقاليد المتبعة. وعوضا عن ذلك يجب أن نستمر بتجربة الأفكار الجديدة في الواقع لمعرفة ما يصْلح وما لا يصْلح.

الضغط الذي تمارسه الدول الأخرى والمواطنون وشركات التقانة تَسبَّب بالفعل في قيام البيت الأبيض بتقديم اقتراح لفرض بعض القيود على المراقبة التي تقوم بها الوكالة NSA. وتطالب شركات التقانة بحق نشر المعلومات حول طلبات الوكالة NSA – دليل المعلومات التوضيحية حول البيانات الخلفية – في مسعى منها إلى استعادة الثقة. وفي الشهر 2014/5 أَقرَّ مجلس النواب قانون الحرية في الولايات المتحدة الأمريكية؛ مع أن العديد من دُعاة الخصوصية يعتبرون مشروع القانون هذا ضعيفا، إلا أنه سيبدأ بالحد من جمع البيانات الضخمة ويقدِّم بعض الشفافية في هذه العملية. (في الوقت الراهن، لا يزال إصدار هذا القانون رهن موافقة مجلس الشيوخ.)

وهذه جميعها خطوات في الاتجاه الصحيح. إلا أن أي تغيير نقوم به الآن لن يكون سوى إصلاحات قصيرة الأجل لمشكلات طويلة الأجل. فالتقانة في تطور مستمر، ويتعين على معدل الابتكار في العمليات الحكومية أن يواكب هذا التطور. وفي نهاية المطاف، فإن التغيير الأكثر أهمية الذي يمكن أن نقوم به هو أن نُجري التجارب بشكل متواصل وأن نقوم بإجراء الاختبارات على نطاق صغير وتطبيقها لمعرفة ما يصلح والإبقاء عليه والتخلص مما لا يصلح. ■

(١) the Massachusetts Institute of Technology

مراجع للاستزادة

Personal Data: The Emergence of a New Asset Class. World Economic Forum, January 2011. www.weforum.org/reports/personal-data-emergence-new-asset-class

Social Physics: How Good Ideas Spread—The Lessons from a New Science. Alex Pentland. Penguin Press, 2014.

Scientific American, August 2014

الحيلولة دون انقطاع شامل للكهرباء(*)

يمكن لشبكة كهرباء أكثر ذكاء وتستجيب بصورة تلقائية للمشكلات الطارئة، أن تقلل من العدد المتزايد من الانقطاعات الشاملة للكهرباء.

<مسعود أمين> ـ <Ph. F. شيوي>

لقد حفزنا انقطاع التيار الكهربائي في كثير من مناطق دولة الكويت وتلبية لاقتراح بعض قراء مجلة العلوم، على إعادة نشر هذا المقال لعل ذلك يُسهم في تعزيز المعلومات حول الإمكانات الهندسية المتوافرة في مواجهة مثل هذا الحدث الطارئ الذي كانت له في بعض بلدان العالم آثارٌ كارثية.

كان الرابع عشر من الشهر 2003/8 يوما من الأيام الحارة المعتادة في وسط الغرب الأمريكي. ولكن بعد الثانية عصرا بقليل احتك عدد من خطوط الحمل الكهربائي العالي في شمال أوهايو ببعض الأشجار العالية؛ مما أدى إلى انقطاع التيار الكهربائي في تلك المنطقة. ومن المعتاد أن يؤدي مثل هذا الاضطراب إلى إطلاق أجهزة الإنذار في مركز التحكم المحلي، حيث يقوم العاملون فيه، وبالتعاون مع القائمين على التحكم في المناطق المجاورة، بالعمل على تعديل مسارات الطاقة الكهربائية تفاديا للمنطقة المصابة.

ولكن في ذلك اليوم ونتيجة لعطل في البرامج الحاسوبية المتحكمة في أجهزة الإنذار، لم تنطلق هذه الأجهزة؛ مما جعل المشغلين المحليين على غير علم بتلك المشكلة. أما العاملون الآخرون الذين كانوا مشغولين بتوجيه كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية إلى مساحات تمتد مئات الأميال عبر أوهايو ومتشيگان وشمال شرق الولايات المتحدة وأُنتاريو في كندا، فقد كانوا هم أيضا غير منتبهين لذلك؛ مما أدى إلى أن تتحمل خطوط الطاقة المحيطة بالمنطقة المصابة كميات من الكهرباء أكبر من القيم الآمنة للتشغيل.

ومما زاد الأمر سوءا أن **مرافق الكهرباء** utilities حينذاك لم تكن تقوم بتوليد القدر الكافي من **الطاقة المفاعلية**(1) reactive power، وهي من خصائص المجالين المغنطيسي والكهربائي، وهي التي تدفع التيار خلال أي سلك. ونتيجة لعدم توافر القدر اللازم من الطاقة المفاعلية لدعم المسارات المتغيرة فجائيا للطاقة الكهربائية، فقد انفصلت الخطوط ذات الحمل العالي في الساعة 4:05 بعد الظهر. ونتيجة لذلك تعطلت إحدى محطات التوليد؛ مما أدى إلى اضطراب في استقرار النظام، ثم انفصال المزيد من الخطوط والمحطات. وقد توالت الأحداث بطريقة أسرع من قدرة المشغلين على تتبع هذه الأحداث بواسطة أجهزة المراقبة التي يبلغ عمرها عدة عقود والمنتشرة على امتداد الشبكة الكهربائية في معظم أمريكا الشمالية؛ كما كانت الأحداث أسرع من قدرتهم على التحكم. وفي خلال ثماني دقائق انقطع التيار الكهربائي عن 50 مليون شخص في ثماني ولايات أمريكية ومنطقتين كنديتين. وكان ذلك أكبر انقطاع للطاقة الكهربائية في تاريخ أمريكا الشمالية.

فقد كانت كارثة عام 2003 أيضا مؤشرا. فخلال شهرين كانت هناك حوادث مماثلة لانقطاع التيار في أوروبا بكل من المملكة المتحدة والدانمرك والسويد وإيطاليا. وفي الشهر 2003/9 كان هناك نحو 57 مليونا من الإيطاليين من دون كهرباء بسبب التعقيدات في نقل الطاقة من فرنسا إلى سويسرا ومنها إلى إيطاليا. وعلى امتداد أكثر من عقد من الزمن زاد عدد حالات الانقطاع الكهربائي عن أكثر من 50 000 شخص في الولايات المتحدة.

إضافة إلى الإزعاج، فإن انقطاع التيار الكهربائي يؤدي إلى خسائر اقتصادية جسيمة. وسوف تسوء الاضطرابات ما لم يتم إصلاح كامل لنظام نقل الطاقة من محطات التوليد إلى المحطات الفرعية المحلية. ولا بد من بناء عدد أكبر من خطوط الضغط العالي لكي تتم مجاراة الطلب المتنامي بسبب زيادة أحمال تكييف الهواء والحواسيب، وكذلك الأجهزة الإلكترونية الحديثة القابلة للشحن.

ولكن ربما كان من الأهم بكثير أن تكون شبكة الطاقة أكثر ذكاء. فمعظم الأجهزة التي تهتم بسريان الكهرباء يعود تاريخها إلى السبعينات من القرن الماضي. ولذلك، فإن نظام التحكم ليس بالجودة التي تمكنه من متابعة الاضطرابات في **وقتها الحقيقي**(2) أو أن يستجيب بطريقة آلية لعزل المشكلات قبل أن تتفاقم. فيجب أن تكون كل نقطة من شبكة الطاقة متيقظة ومستجيبة وعلى اتصال بكل نقطة أخرى. إضافة إلى ذلك، فإن المعلومات التي تصل إلى المشغلين في محطات التحكم المركزية ضئيلة ومرت عليها 30 ثانية على الأقل؛ مما يجعل من المتعذر عليهم الاستجابة بالسرعة الكافية لوقف الاضطرابات المتلاحقة التي توشك على البدء. لذا، فإن شبكة ذكية ذاتية الإصلاح ومتنبهة للاضطرابات المتنامية وقادرة على إعادة تشكيل نفسها لحل المشكلات الطارئة، ستكون قادرة على تقليل الانقطاعات الكهربائية بدرجة كبيرة؛ وستستطيع أيضا احتواء الفوضى التي قد تنشأ عن عمل تخريبي؛ وستسمح أيضا بنقل الطاقة الكهربائية بطريقة أكثر كفاءة؛ مما يوفر ملايين الدولارات على مرافق الكهرباء والمستهلكين أثناء التشغيل العادي. هذا وتتوفر التقانة اللازمة لبناء مثل هذه الشبكة الذكية، وقد برهنت العروض الحديثة للمشروعات على جدواها.

إرباك سببه التحديث(**)

لقد أصبح نظام النقل مهددا بانقطاع التيار بسبب الجهود المبذولة على امتداد قرن من الزمن لخفض فقد

(*) PREVENTING BLACKOUTS
(**) OVERWHELMED BY PROGRESS
(1) وتسمى أيضا طاقة (قدرة) غير فعالة، والمفاعلية هنا صفة حالة مفاعلة تحريضية أو مواسعية.
(2) real time: الوقت الحقيقي لوقوع الحدث. (التحرير)

الطاقة الكهربائية أثناء مرورها في الأسلاك. ولذلك، فإن جــزءا منها يتم فقده على هيئة حرارة. فالفقد يتناســب مــع قيمة التيار المحمول، لذلك فإن مرافق الكهرباء تعمل علــى خفض التيار وتعويض ذلك برفــع الفلطية (الجهد الكهربائي). فقد اســتمرت هذه المرافق ببناء خطوط نقل أطول وذات فلطية أعلى لتوصيل الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية مــن محطات التوليــد إلى المســتهلكين البعيدين. وتســمح هذه الخطوط ذات الفلطية العالية أيضا لمرافق الكهرباء القريبة بربط شــبكاتها، وبذلك يساعد كل منها الأخــرى على المحافظــة على توازن حيــوي بين التوليد واحتياجات المستهلك.

ولكن مثل هذه الارتباطات قد تؤدي إلى أخطار معينة، منها الانتشار السريع للانقطاع في أحد القطاعات إلى القطاعات الأخرى. وقد دفع الانقطاع الكبير أثناء عام 1965، في الشمال الشــرقي من الولايات المتحدة الأمريكية، المرافق إلى تأسيس **هيئة أمريكا الشــمالية للموثوقيــة الكهربائية** (NERC)[١]؛ للتنسيق بين الجهود المبذولة بهدف الارتقاء بموثوقية النظام. وتوجد حول العالم هيئات مشــابهة (مثــل الاتحاد الأوروبي لتنسيق نقل الكهرباء).

لماذا إذاً كانت شــبكة الولايات المتحدة معرضة بما فيه الكفاية للانهيار الكبير في عام 2003؟ فأحد الأسباب الرئيســية يكمن في عدم توافر الاســتثمار في تحسين نظام النقل. فبسبب الارتفاع السريع لأسعار الوقود في الســبعينات من القرن الماضي وعــدم الحماس المتزايد للطاقة النووية، أقر الكونگرس الأمريكي تشريعا يهدف إلى السماح بالمنافسة في السوق بهدف تحسين الكفاءة. وما تبع ذلك من قوانين أدى إلى تغيير كاسح في الصناعة، وهو الذي صار يعرف باسم **إعادة الهيكلة**[٢]. وقبل بدء إعادة الهيكلة بصورة جدية في تسعينات القرن الماضي، قــام معظم المرافق، كلٌ في منطقته، بإجراء جميع المهام الثلاث التاليــة: توليد الطاقة في محطــات توليد كبيرة ونقلها إلــى المحطات الفرعية بواســطة خطوط الفلطية العاليــة، ويلي ذلك توزيعها على المســتهلكين عن طريق خطوط ذات فلطية أقل. ويوجد حاليا العديد من منتجي الطاقة الذين يبيعونها لمستهلكين على مسافات بعيدة أو قريبة من خلال خطوط نقل غير مملوكة لهؤلاء المنتجين. وفي الوقت نفســه، قام بعــض المرافق ببيع أجزاء منها بتشــجيع من اللجنة الفدراليــة التنظيمية للطاقة بهدف تكويــن المزيد من المنافســة. وبالتدريج أصبح موضوع نقل الطاقة خليطا محيرا من خدمات منظمة وأخرى غير منظمة، حيث تقوم شــركات مختلفة بالتحكم في أجزاء متناثرة من الشبكة.

والآن عرف المســتثمرون مدى جاذبيــة توليد الطاقة التي تعتبــر حاليا، وفــي الغالب، غير منتظمة. ولكــن ما يثير قلق المســتثمرين هو عدم وضوح مصير نظــام نقل الطاقة لكونه غير منظم جزئيا فقط (عملية تنظيم مجال التوزيع مازالت في مراحلها الأولى). وفي هذه الأثناء، ومع أن توجيه نقل الطاقة قــد تَمَّ في الماضي، فإنه منذ تســعينات القرن الماضي قد تم نقل كميات أكبر من الطاقة عبر مسافات بعيدة. ونتيجة لذلك تتــم عمليات نقــل كبيرة عبر خطوط نقــل تم بناؤها منذ عدة عقود بواســطة مرافق الكهرباء في الغالب للاســتخدام على النطاق المحلي.

نظرة إجمالية/ شبكة ذكية[*]

لعقود من الزمن، زاد الطلب على الكهرباء باطراد، ومع ذلك لم يُجَر أي إضافة أو تحديث بالمعدل نفسه فيما يتعلق بخطوط نقل الطاقة من محطات التوليد إلى المستهلكين. ونتيجة لذلك، أصبحت الشــبكة محملة أكثر من المســموح به؛ مما يجعلها عرضــة لانقطاعات الكهرباء التي زادت عددا وشــدة، وأدى ذلك إلى خسارة اقتصادية سنوية للولايات المتحدة تزيد على 70 بليون دولار.

وحتى في وجود عدد أكبر من خطوط النقل؛ فهناك حاجة إلى شبكة ذكية قادرة على إصلاح نفسها بنفسها وعلى الاستشعار المبكر بالمشكلات المحلية وعلى القيام تلقائيا بإصلاحها أو عزلها قبل أن يــزداد حجمها، وهذا يمنع حــدوث الانقطاعات المتتالية للطاقة التي تسبب انقطاعات الكهرباء.

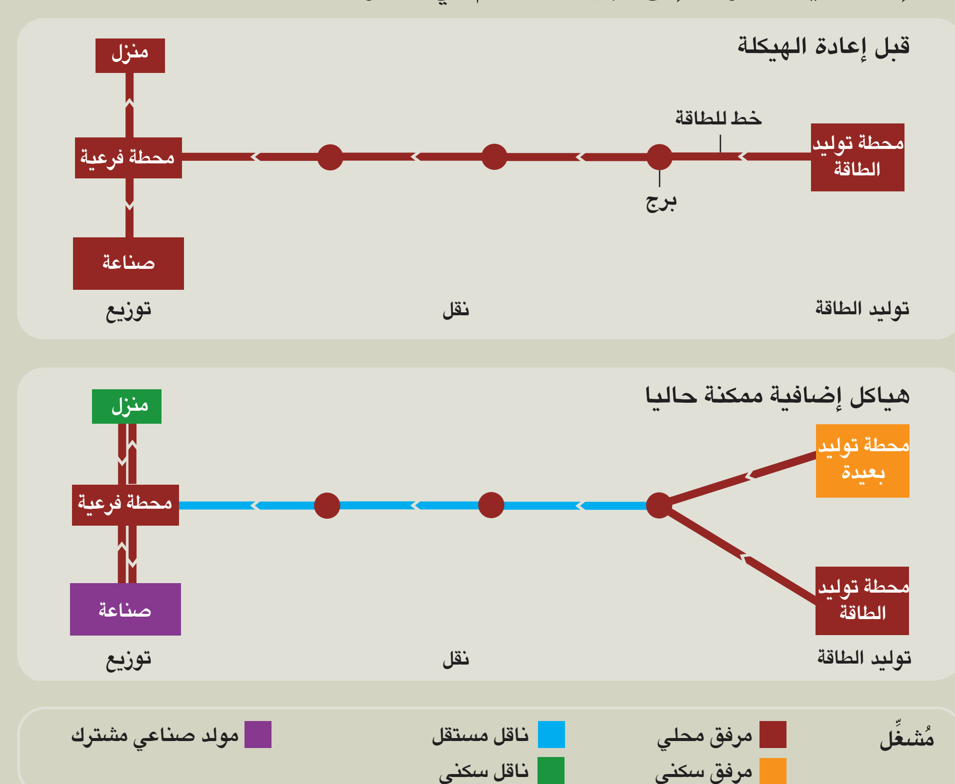
ولا بــد من تزويد كل خط مــن خطوط النقل وكل محطة فرعية وكل محطــة توليد وكذلك كل مركز من مراكز التشــغيل بأجهزة المتحكمات الرقمية وأجهزة الاتصالات الفورية.

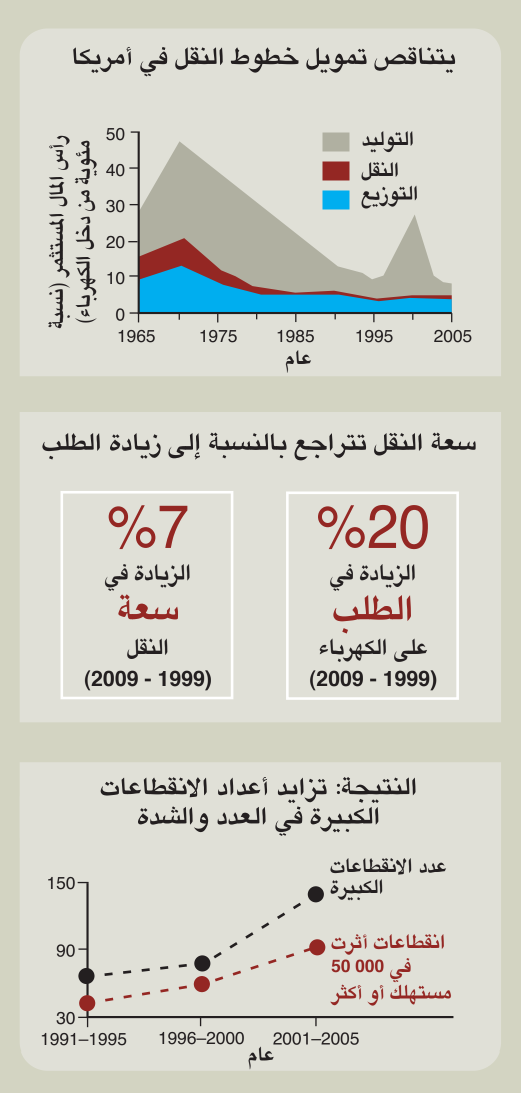
وتحتاج مراكز التشغيل، كذلك، إلى أجهزة حاسوبية وبرامج مُجددة تمكن القائمين على التشغيل من التحكم في الشبكة الذكية المشــغلة آليا وذلــك بطريقة يدوية إذا ما بــدأ الانقطاع بالظهور بصــورة أو بأخرى. وكذلك يحتاج القائمون على التشــغيل إلى تدريب أفضل لمعرفة كيفية التصرف بسرعة.

(*) OVERVIEW / SMART GRID
(١) the North American Electric Reliability Corporation
(٢) restructuring

المشكلة: كثرة المشاركين وقلة الاستثمارات(*)

إن إعادة هيكلة المرافق بسبب تحرير الأسواق deregulation تمثل سببا رئيسيا لزيادة انقطاع الكهرباء (في الرسم البياني السفلي). ونظرا لعدم مسؤولية شركة واحدة عن الأعمال في منطقة معينة، فإنه لا يتم تحديث شبكة الطاقة أو توسيعها لكي تتلاءم مع الطلب المتزايد (في الرسم البياني العلوي).





إن التشريع الفدرالي المقترح قد يشجع على زيادة الاستثمار. ولكن حتى في حالة زيادة سعة النقل، فإن الانقطاعات الكهربائية سوف تستمر بالحدوث. إن من اللازم إعادة تجهيز شبكة الطاقة بالكامل، لأن التقانات الحالية للتحكم التي لها دور أساسي في سرعة استشعار فشل أحد الخطوط الصغيرة أو احتمال حدوث حالة كبيرة من عدم الاتزان؛ قد أصبحت من طراز عتيق. ولكي تستمر الشبكة بحالة يعتمد عليها فيجب أن تعمل بطريقة شبيهة بعمل الطائرة الحربية التي تطير في معظم الوقت باستخدام أنظمة مستقلة، بحيث يستطيع المتحكم البشري أخذ زمام السيطرة عند الحاجة إلى تفادي كارثة.

ثمة حاجة إلى السرعة(**)

تُجهَّز الطائرات الحربية الحديثة بأجهزة قيادة متقدمة تمكن الطيار من الاعتماد على شبكة من أجهزة الاستشعار والتحكم الآلي التي تجمع المعلومات بسرعة وتتصرف على أساسها. ولحسن الحظ، فإن التطورات الحديثة في البرامج والأجهزة الحاسوبية المطلوبة لتشغيل الشبكة الكهربائية بطريقة مشابهة ولتغيير مسارات سريان الأحمال بسرعة آنية وكذلك لإغلاق محطات التوليد، متوافرة بالفعل.

ومع ذلك، فإن عملية إعادة تشكيل نظام متشابك تعتبر

(*) THE PROBLEM: TOO MANY PLAYERS, TOO LITTLE INVESTMENT
(**) A NEED FOR SPEED

تحديا كبيرا. فمعظم محطات التوليد وخطوط النقل تتم مراقبته بواسطة **نظام إشرافي للتحكم وتجميع البيانات** (SCADA)[1]. ويقوم هذا النظام الذي يحتوي على أجهزة استشعار ومتحكمات بسيطة بثلاث وظائف حيوية هي: تجميع البيانات والتحكم في محطات التوليد وعرض الإنذار وكذلك السماح للمشغلين الموجودين في محطات التحكم الرئيسية بالقيام بأعمال معينة، مثل فتح قاطع التيار أو غلقه. ويراقب النظام SCADA المفاتيح والمحولات وأجزاء من أجهزة صغيرة تعرف باسم **متحكمات منطقية قابلة للبرمجة**[٢]، وأيضا **وحدات الأطراف البعيدة** remote terminal units والموضوعة في محطات التوليد والمحطات الفرعية وتقاطعات خطوط النقل والتوزيع. ويقوم النظام بإرسال المعلومات أو الإنذارات إلى المشغلين عبر قنوات الاتصالات.

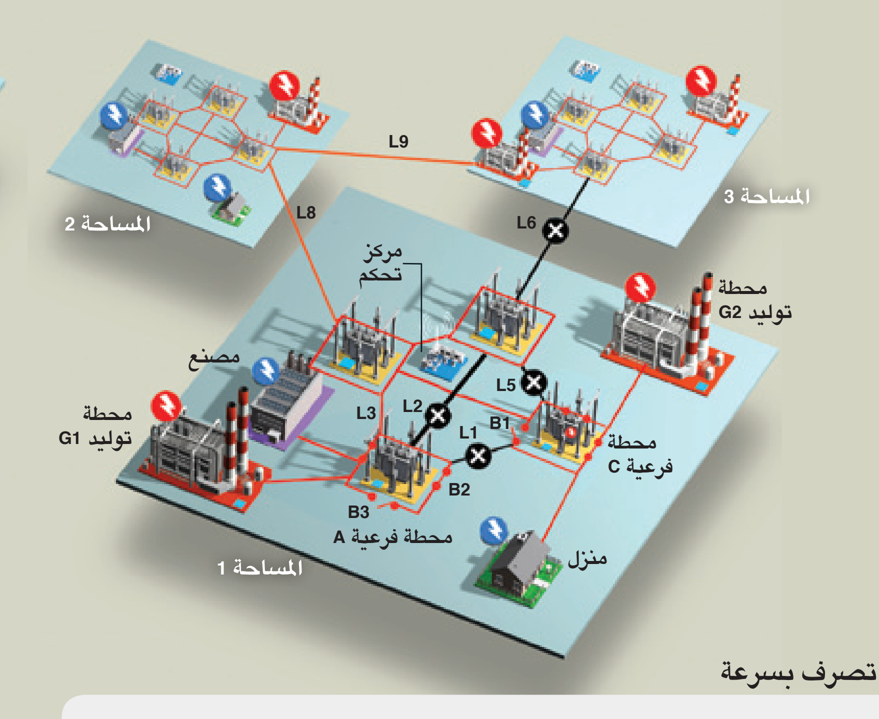
ولكون النظام SCADA يرجع إلى 40 عاما مضت، فإن جزءا كبيرا منه بطيء في التعامل مع تحديات الحاضر ولا يقوم بالاستشعار أو التحكم بدرجة كافية في المكونات على امتداد الشبكة. ومع أنه يسمح ببعض التنسيق في النقل بين المرافق، فإن هذه العملية بطيئة ومتعثرة لدرجة كبيرة، ومازال معظمها يتم على أساس مكالمات هاتفية بين المشغلين البشريين في مراكز التحكم للمرافق ولاسيما أثناء الطوارئ. إضافة إلى ذلك، فإن معظم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة ووحدات الأطراف البعيدة تم تطويره قبل إرساء المواصفات الخاصة بالقدرة على **التشغيل البيني** interoperability في جميع النشاطات الصناعية، ولذلك نرى المرافق المتجاورة غالبا ما تستعمل برامج غير متوافقة. وتقترب المرافق باستمرار من حافة مجال الاتزان باستخدام أنظمة التحكم التي كانت تتبع في ستينات القرن الماضي.

شبكة ذكية ذاتية الإصلاح(**)

وتكون النتيجة ألا يستطيع أي مُشغِّل بمفرده أو **مِرْفق** utility القيام **بتثبيت**[٣] أو عزل عطل في النقل الكهربائي. وتتطلب إدارة آنية لشبكة حديثة مزيدا من المراقبة الآلية

الحل: شبكة ذكية ذاتية الإصلاح(*)

تخيل أن عاصفة رعدية ضربت الخطين L5 و L6. فمثل هذا الحدث يؤدي عادة إلى سلسلة من ردود الأفعال على هيئة أعطال في الخطوط قد تتسبب بانقطاع الكهرباء في المساحة رقم 1. ولكن يمكن لشبكة ذكية أن تقوم بعزل المشكلة وتصحيحها، كما هو مبين في الأسفل. ويبدأ الإجراء بقيام حاسوب الرؤية إلى الأمام في مركز التحكم بمحاكاة إجراءات تصحيحية في أقل من نصف ثانية، ويرسل تعليمات إلى حواسيب التحكم على امتداد الشبكة.



تصرف بسرعة

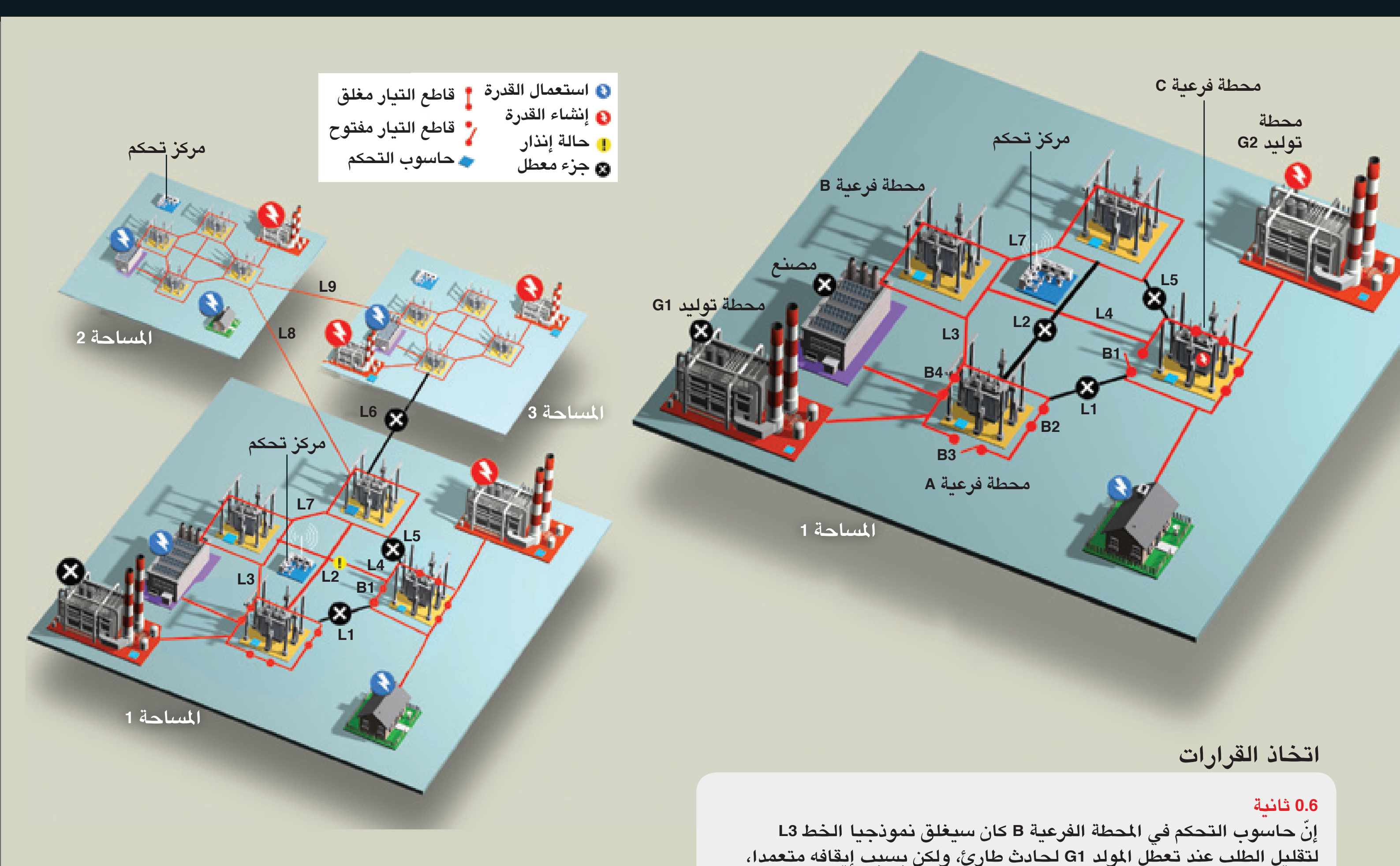
0.04 ثانية بعد ذلك
إن خسارة الخطين L5 و L6 تؤدي إلى عطل في الخط L1. ويأمر حاسوب التحكم كلا من قواطع التيار B1 و B2 بالفتح لعزل العطل، ولكن قاطع التيار B2 يفشل في الفتح ويبقى مقفلا.

0.1 ثانية
يتسارع المولد G1 تلقائيا لتغطية الحمل بسبب فقد المولد G2 نتيجة للمشكلات في الخطين L5 و L1. والمولد G1 يتسارع أيضا سعيا إلى جعل الفلطية في المساحة 1 عند التردد المطلوب 60 هرتزاً (ذبذبة في الثانية).

0.4 ثانية
يطلب حاسوب المحاكاة والتحكم في المحطة الفرعية A إلى قاطع التيار B3 أن يفتح، وذلك لحماية المحطة الفرعية من الضرر نتيجة لمرور تيار كبير فيها. فيفتح قاطع التيار B3 فاصلا بذلك الخط L2. ويستمر المولد G1 بتزايد تسارعه للتعويض.

0.5 ثانية
يقوم مركز التحكم بفصل المولد G1 للحيلولة دون تضرره بسبب تسارعه المفرط.

(*) THE SOLUTION: A SMART GRID THAT HEALS ITSELF
(**) THE SELF-HEALING SMART GRID
(١) supervisory control and data acquisition
(٢) programmable logic controlers
(٣) stabilize؛ أو: تركيد.



اتخاذ القرارات

0.6 ثانية

إنّ حاسوب التحكم في المحطة الفرعية B كان سيغلق نموذجيا الخط L3 لتقليل الطلب عند تعطل المولد G1 لحادث طارئ، ولكن بسبب إيقافه متعمدا، فإن الحواسيب في المساحة 1 تتخاطب وتقرر بدلا من ذلك إغلاق مصنع كبير؛ مما يخفض الطلب بشكل كبير. وهذا الإجراء يقلل من عدم التكافؤ بين التوليد والطلب، الحرج جدا في المهام الحيوية مثل إنارة الشوارع والمستشفيات التي يجب أن تبقى مغذاة كهربائيا.

10 ثوانٍ

ومع ذلك، وبعد عدة ثوان يكتشف حاسوب المحطة الفرعية B أن الفلطية هناك بدأت بالتذبذب متخطية التفاوت الآمن المسموح به، لأن عدم التكافؤ ما زال كبيرا؛ مما يهدد بإعطاب الأجهزة على الخطوط L3 و L4 و L7. وعوضا عن إغلاق هذه الخطوط (الاستجابة التقليدية القديمة) تقوم حواسيب المنطقة بتغيير تحكم المولد G2 إلى يدوي، مُقدِّمة النصح للمشغِّلين البشريين في مركز تحكم المساحة 1 بزيادة التوليد أو تقليل الحمل، وهم سينفذون بعضا من الخيارين.

العودة إلى الوضع الطبيعي

60 ثانية

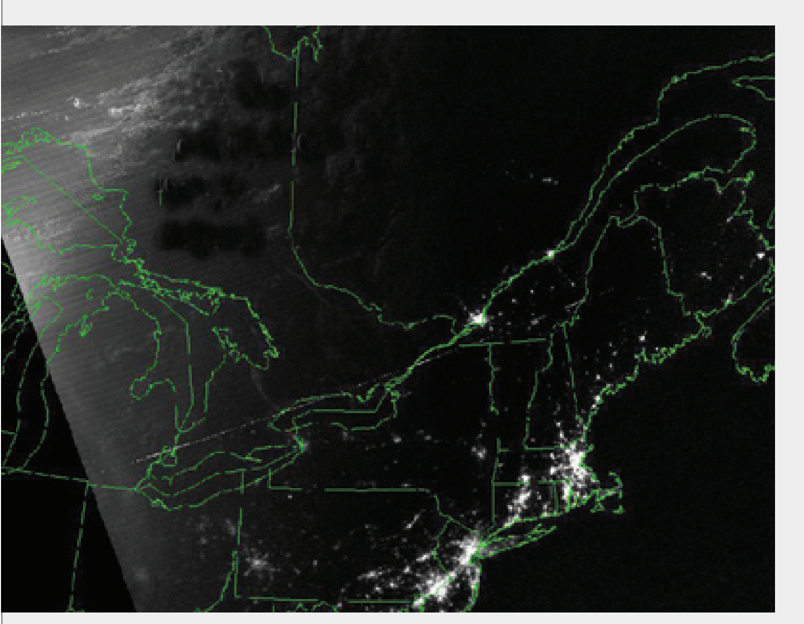
وُضِعت الخطوط L3 و L4 و L7 كاحتياط، لكن الخط L4 سيصبح محملا بأكثر مما يحتمل. ويتصل المشغلون البشريون، في مركز التحكم عن طريق الأقمار الصنعية، بالمشغلين في مركز تحكم المساحة 2 طالبين المساعدة. ويقوم المشغلون في المساحة 2 بإرسال طاقة عبر الخط L8، كما يقومون بتوجيه حواسيب التحكم في قطاعهم لتغيير انسياب الطاقة قليلا للتعويض عن التصدير المفاجئ. وحالما يقوم عمال الطرق بإصلاح الخطين المعطوبين L5 و L6، تقوم الحواسيب بإرجاع الخط L1 ومحطة التوليد G1 إلى الخدمة. وهكذا تعود الطاقة في المساحات الثلاث إلى الانسياب الطبيعي.

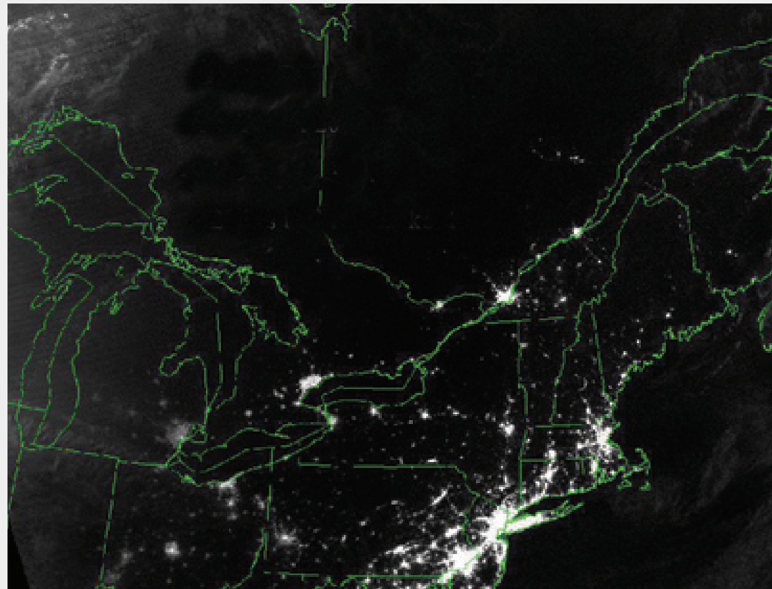
وقدرا أكبر من التعامل المتبادل بين المشغلين البشريين والأنظمة الحاسوبية وشبكات الاتصالات وأجهزة الاستشعار التي تقوم بتجميع البيانات، والتي يجب أن يجري نشرها في كل مكان داخل محطات التوليد والمحطات الفرعية. ويتطلب التشغيل الذي يمكن الاعتماد عليه أيضا وصلات للاتصالات ذات اتجاهين وذات معدل عال لنقل البيانات فيما بين هذه النقاط؛ إضافة إلى أنظمة حاسوبية قوية في مركز التحكم، وهذا غير موجود حاليا. كذلك يجب توزيع حواسيب ذكية على امتداد الشبكة يمكنها، بطريقة تلقائية، أن تعيد تشكيل سريان الطاقة عند الاستشعار ببدء الانقطاع.

يبدأ إطلاق الشبكة بنوع مختلف من تصميم النظام. فقد توصلت الأبحاث الحديثة في مجالات عدة، بما فيها الأنظمة الديناميكية اللاخطية والذكاء الصنعي و**نظرية**

العامل البشري(*)

عندما يبدأ الانقطاع المحلي بالتزايد أكثر من قدرة الشبكة الذكية على إبقائه آليا تحت السيطرة، يقوم المشغلون البشريون في غرف تحكم المناطق بقطع سلسلة ردة الفعل. ولعمل ذلك، فهم يحتاجون إلى معلومات على مدار الثانية ومعلومات كاملة عن الشبكة وبرامج حاسوبية متوائمة وإجراءات استجابة مفروضة سلفا وتدريب متين. وجميع هذه المتطلبات كانت مفتقدة عندما بدأ الانقطاع الضخم في أمريكا عام 2003 بالتزايد، كما يوضح الحوار أثناء الدقائق الأولى للحدث (أجزاء منه موضحة في الأسفل). فتسجيلات المحادثة المنشورة عن مجلس أمريكا الشمالية للاعتماد الكهربائي كانت بين متحكمي الاعتماد في المناطق القريبة الذين كانوا يحاولون مساعدة بعضهم على إجراء توازن في انسياب الطاقة، وهو الذي كان يتجه إلى الخروج عن السيطرة.





صور بالأقمار الصنعية (السواتل)، تظهر الشمال الشرقي الأمريكي ليلة قبل انقطاع عام 2003 (في اليمين) وليلة هذا الانقطاع (في اليسار).

المباريات game theory وهندسة البرمجيات، إلى نظرية عامة حول كيفية تصميم أنظمة مركبة يمكنها التكيف مع الظروف المتغيرة. وتقدم تقنيات الرياضيات وطرق الحوسبة إلى هذا التخصص الناشئ أدوات جديدة لمهندسي الشبكات. إن فرق العمل في الصناعة ـ بما فيها مجموعة تدار بواحد منا (<أمين>) عندما كان يعمل في **معهد أبحاث الطاقة** (EPRI)[1] بپالوألتو بكاليفورنيا ـ قد اقترحت أنظمة مركبة ذاتية التكيف لشبكات الطاقة الإقليمية الكبيرة. وعلى نطاق تجريبي، قام العديد من **المرافق**[2] بنشر وحدات ذكية للأطراف البعيدة ومتحكمات قابلة للبرمجة يمكنها ذاتيا تنفيذ سيرورات بسيطة لا تحتاج إلى مراجعة مشغل بشري، أو يمكن إعادة برمجتها عن بعد بواسطة المشغِّل. وهناك حاجة إلى تنفيذ ذلك على نطاق أوسع.

وأفضل طريقة لبناء شبكة ذكية هي أن يحاول مصمموها تلبية ثلاثة أهداف أولية. وأهم هذه الأهداف هو القدرة على المراقبة والاستجابة الآنية. وستقوم مجموعة من أجهزة الاستشعار بمراقبة الكميات الكهربائية كالفلطية والتيار وحالة المكونات الحيوية. وباستعمال هذه القياسات، سيتمكن النظام من ضبط نفسه باستمرار للوصول إلى الحالة المثلى.

والهدف الثاني هو الترقب أو التوقع. فلابد أن يقوم النظام بالبحث بشكل مستمر عن مشكلات محتملة يمكن أن تسبب اضطرابات أكبر، مثل محوِّل يعاني زيادة غير مسموحة في درجة الحرارة. حينئذ تقوم الحواسيب بتقييم علامات الاضطراب ونتائجها الممكنة. وبعد ذلك يمكنها تحديد إجراءات تصحيحية وتجربتها من ناحية فعالية كل إجراء، وتقديم أكثر الاستجابات فائدة إلى المشغلين الذين يستطيعون بعد ذلك الإسراع في تنفيذ الإجراء التصحيحي عن طريق الاستفادة من العديد من إمكانيات التحكم الآلي في

(*) THE HUMAN FACTOR
(1) the Electric Power Research Institute
(2) ج: مِرْفق utility.

الشـبكة. وتطلق الصناعة على هذه القدرة مصطلح **محاكاة سريعة للنظر إلى الأمام**(1).

والهـدف الثالث هو العـزل. فـإذا كان للأعطال أن تحدث، فإن الشـبكة بكاملها ستتجزأ إلى «جزر» منعزلة ينبغي أن تهتم كل واحدة منها بنفسها. وتقوم كل جزيرة بإعادة تنظيم محطات التوليد وسريان الأحمال الخاصة بها بقدر اسـتطاعاتها. ومع أن احتمـال أن يؤدي ذلك إلـى تغيرات في الڤلطية أو حتى إلى انقطاعات صغيرة، فقـد يمنع ذلك الأحداث المتتالية التي تسـبب انقطاعات كبيـرة. وفي حين يقوم عمال الخطوط بإصلاح الأعطال، يقوم طاقم التحكم بإعداد كل جزيرة لاستعادة ارتباطها بالشبكة الأكبر بطريقة سلسة. وسيتصرف طاقم التحكم والحواسيب الخاصة بهم وكأنهم شبكة توزيع، ويقومون بالاتصـال بوسـاطة الموجـات الميكرويـة (الميكرويڤ) والأليـاف البصريـة أو خطوط النقل نفسـها. وبمجرد استعادة سـريان الطاقة الكهربائية سيبدأ النظام عملية الوصول ذاتيا إلى الوضع الأمثل.

ولتحويـل البنيـة التحتية الحالية إلى هـذا النوع من الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح، يجب أن يتم نشر ومكاملة تقانـات متعددة. وتتمثل الخطوة الأولـى ببناء معالج في داخـل كل مفتاح أو قاطع أو محول أو **نقطة تجميع** bus bar، وهي الموصِّلات الكبيـرة التي تحمل الكهرباء بعيدا عن المولدات. ويجب تجهيز كل خط نقل **بمعالج** processor له القدرة علـى التواصل مع المعالجات الأخرى: كل منها يتابع نشاط القطعة المعينة المسؤول عنها، وذلك عن طريق أجهـزة استشـعار للمراقبة تمت إضافتهـا إلى الأنظمة الخاصة بها.

وحالما تتم مراقبة كل جهاز، يجب حينها الاسـتعاضة عن ملايين المفاتيح الكهرميكانيكية المستخدمة حاليا بدوائر **الحالة الصلبـة** solid-state و**القـدرة الإلكترونية** power-electronic، وهي نفسها التي يجب تقويتها لتتحمل أعلى ڤلطية نقل: 345 كيلوڤلط وأكبر من ذلك. وهذا التحسين من الأجهزة التماثلية إلى الأجهزة الرقمية سيسمح بالتحكم الرقمي لكامل الشبكة، وهي الطريقة الوحيدة لتنفيذ المراقبة الذاتية والإصلاح الذاتي في الزمن الفعلي.

إن الانتقـال الكامـل يتطلـب كذلـك تحويل خطوط التوزيع الصغيرة ذات الڤلطية المنخفضة التي تغذي كل منزل ومؤسسة إلى رقمية. فمفتاح الحل هو الاستعاضة عن عـدّاد القدرة الذي عمره عقود ويعتمد على التروس الدوّارة، بعدّاد رقمي يسـتطيع اقتفاء أثر التيار الداخل إلى مبنى، وكذلك اقتفاء أثر التيار المرسـل إلى الخارج. وهذا يسمح لمرافق الكهرباء بتقدير أفضل لكمية الطاقة والطاقة المفاعلية التي تنسـاب من المنتجين المسـتقلين راجعة إلى الشبكة. وسيسمح ذلك أيضا لمرفق الكهرباء باستشعار الاضطرابات المحلية الصغيرة؛ مما يمكن من تقديم إنذار مبكر عن المشـكلات التي يمكنها أن تتفاقم؛ وكذلك يُحسِّـن من محاكاة النظر إلى الأمام. وسيسمح هذا لمرافق الكهرباء بأن تقدم إلى الزبائن رسـوما تتغير من سـاعة إلى أخرى تتضمن حوافز لتشغيل الأجهزة والآلات فـي أوقـات غير الذروة التي ربمـا تختلف من يـوم إلى آخر؛ ممـا يقلل من القفزات فـي الطلب التي يمكن أن تجعل الشـبكة غير مسـتقرة. إن بوابة الطاقة الرقمية هذه ليسـت كالعدّاد، فهي تسمح للمعلومات عن الشـبكة بأن تنساب ذهابا وإيابا مع تجاوب المستهلكين للتغييرات في الأسـعار. والبوابة هي أداة للانتقال إلى ما بعد نموذج سلعة توصيل الكهرباء إلى عهد جديد من خدمـات متعددة للطاقة مشـابه لما هو حاصل اليوم في السوق الديناميكية للاتصالات.

إن مشـروع المعهد EPRI لتصميم نموذج أولي للشـبكة الذكيـة، هذا المشـروع الذي يطلـق عليه **مبادرة شبكات الأنظمـة التفاعليـة المركبـة**(2)، قـد تم تنفيذه فـي الفترة 1998 - 2002 بمشـاركة مجموعـة باحثين مكونة من سـت جامعات وشركتين للطاقة ووزارة الدفاع الأمريكية. وقد دفع ذلـك إلى البدء بعدة جهود لاحقة وحاليـة في وزارة الطاقة الأمريكية ومؤسسـة العلوم الوطنية ووزارة الدفاع والمعهد EPRI نفسه لتطوير نظام عصبي مركزي للشبكة الكهربائية. ويُظهر هذا العمل بالإجمال أن الشبكة يمكن أن تعمل قريبا من حدود الاسـتقرار مادام المشـغلون يمتلكون باستمرار معلومات عما يجري في كل مكان. وسـيتمكن المشـغل من مراقبة كيفية تأثير الطقس فيه، وسيحصل على شعور قوي عن أفضل كيفية فـي المحافظة على التوازن ثانيةً بثانية بين الحمل (الطلب) والتوليد.

وكمثال، فـإن جانبا واحدا من برنامـج المعهد EPRI للشـبكة الذكية يتمثل بإعطاء المشـغلين قـدرة أكبر على توقع عدم الاستقرار على نطاق واسع. فالأنظمة SCADA الحالية لديها 30 ثانية تأخير أو أكثر عند تقدير المشكلات

(1) capability fast look-ahead simulation

(2) the Complex Interactive Networks Systems/ Initiative



الباحثون في مختبر شمال غرب الباسفيكي الوطني يجلسون في محاكي مركز تحكم إقليمي، و يقومون بفحص نموذج أولي لبرنامج حاسوبي يستطيع أن يقدم إلى المشغلين البشريين معلومات عن الشبكة في الزمن الحقيقي، و هي معلومات ضرورية لإيقاف الانقطاعات الناشئة حديثا قبل انتشارها.

المعزولة في سلوك النظام التي يمكن اكتشافها. وهذا مشابه لقيادتنا طائرة، ناظرين من خلال مرآة ضبابية إلى المنظر الخلفي بدلا من المجال الجوي الأمامي الصافي. هذا وإن مشروع المحاكاة السريعة والنمذجة في المعهد EPRI يتطور بشكل أسرع من محاكاة النظر إلى الأمام في الزمن الحقيقي في توقع المشكلات. وهذا مشابه للاعب شطرنج بارع يقوم بتقييم الخيارات المتاحة لعدة نقلات مستقبلية. فهذا النوع من النمذجة الذاتية للشبكة أو الوعي الذاتي سيجنب الاضطرابات عن طريق إجراء تحليلات من نوع «ماذا – لو». وسيساعد هذا أيضا على إصلاح ذاتي للشبكة والتكيف مع الحالات الجديدة بعد انقطاع الكهرباء أو هجوم عدائي، كما تفعل طائرة حربية عند إعادة ترتيب أنظمتها لإبقائها محلقة في الجو على الرغم من حدوث عطب فيها.

من سيسدد التكاليف(*)

تقانيا، لم تعد الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح حلما بعيدا. ولكن إيجاد التمويل اللازم لبنائها أمر آخر.

وهذه الشبكة قد تكون مكلفة، لكن ليست بالمستحيلة بالنظر إلى الاستثمارات التاريخية. ويُقدّر المعهد EPRI تكلفة الفحص والتمديد من خلال نظام النقل والتوزيع الأمريكي بأكمله بما قد يصل إلى 13 بليون دولار أمريكي في السنة ولمدة عشر سنوات. ويعادل هذا أكثر من 65% مما تستثمره حاليا صناعة الكهرباء في العام الواحد. وتتنبأ دراسات أخرى بأن التكلفة قد تصل إلى 10 بلايين دولار أمريكي في السنة ولمدة عقد أو أكثر. ويجب أن تصرف الأموال كذلك على تدريب العنصر البشري المتمثل بالمشغلين. فقد تبدو تكاليف ذلك عالية، لكن التقديرات تشير إلى أن الخسائر الاقتصادية من جميع الانقطاعات التي حدثت في أمريكا قد تتراوح بين 70 إلى 120 بليون دولار أمريكي في السنة الواحدة. وعلى الرغم من أن انقطاعا كبيرا في الكهرباء يحدث تقريبا مرة واحدة في العقد الواحد، فإنه في كل يوم هناك 500 000 مستهلك أمريكي من دون كهرباء لمدة ساعتين أو أكثر.

ومن سوء الحظ أن دعم البحث والتطوير في قطاع صناعة الكهرباء متدن في جميع الأوقات، وهو الأقل في أي قطاع صناعي رئيسي باستثناء العجائن والورق. ويعتبر إيجاد الدعم تحديا ضخما لأنه يجب على مرافق الكهرباء أن تفي بالطلب المتزايد من جانب الزبائن والمشرعين. وفي الوقت

(*) WHO SHOULD PAY

نفســه تكون متجاوبة مع مالكيها الذين يميلون إلى الحد من الاستثمارات للحصول على عائدات في مدى قصير.

وهناك عوامل أخرى يجب أخذها بالحسبان: ما مستوى التهديد الإرهابي الذي تكون صناعة الكهرباء مسؤولة عنه، وما الذي يجب أن تغطيه الحكومة؟ إذا كان ارتفاع الرســوم أمرا غير مرغوب فيه، فكيف يمكن حينئذ الســماح لمرفق الكهرباء بتوفير الأموال اللازمة له؟ إن تحســين البنية التحتية للطاقة يتطلب التزامات طويلة المدى من جانب مستثمرين صبورين؛ كما يجب على جميع القطاعــات، الخاص منها والعام، ذات الصلة أن تعمل متعاضدة معا.

وربما تدرك الحكومــة الحاجة إلى قرار. فقد أعلن مكتب البيت الأبيض لسياســة العلوم والتقانة ووزارة الأمن الوطني مؤخــرا عن «بنية تحتيــة ذاتية الإصــلاح» كواحد من ثلاثة طموحات اســتراتيجية في خطتها الوطنيــة للبحث والتطوير في دعم حمايــة البنية التحتية الحيوية. فالإشــراف الوطني حاجــة ماســة؛ لأن الغياب الحالي في التنســيق عند اتخاذ القرار يعتبر عقبة رئيسية. وحقوق الولايات وقوانين مفوضية المرافق العامة على مســتوى الولاية تقتل أساسا الحافز لأي مرفق كهرباء أو مجموعة مرافق لقيادة الجهود على مستوى الدولــة. ومع ذلك، فإنه ما لم يتم تكوين تعاون على مســتوى الولايــات كافة، فإن التأميم الإجبــاري لصناعة الكهرباء هو الطريق الوحيد لإنجاز شبكة ذكية.

تكمن الخطورة في مقدرة البنــى التحتية الحيوية للدولة على الاستمرار بالعمل بموثوقية وأمان. وعلى الأقل، فإن نظــام النقل الذاتي الإصلاح ســيقلل من تأثير أي نوع من المحاولات الإرهابية لقطع شــبكة الكهرباء. ففترات القطع يمكــن تلافيها أو تقليلها، ويمكــن احتواء التخريب، ويمكــن تقليل الانقطاعات، ويمكن إيصــال الكهرباء للجميع بكفاءة أعلى.

لو أن الشــبكة الذكية الذاتيــة الإصلاح كانت موجودة عندما فشل الخط المحلي بأوهايو في الشهر 2003/8، لكانت الأحداث قد تكشــفت بطريقة مختلفة تماما. فمعدات توقع العطــب الموجودة على أحد طرفــي خط النقل المقطوع كان بإمكانها اكتشاف الإشــارات غير الطبيعية وإعادة توجيه انسياب الطاقة عبر الخط وحوله لعزل الاضطراب قبل عدة ساعات من تعطله؛ ولتَمكَّن **محاكي النظر إلى الأمام**[1] من تعرف الخط الذي يُظهر احتمالا أعلى من الطبيعي للتعطل؛ ولتمكنت البرمجيات الذاتية الإدراك على طول الشبكة وفي مراكــز التحكم من تشــغيل ســيناريوهات التعطل لتحدد الاســتجابة التصحيحيــة المثالية؛ ولتمكّن المشــغلون من الموافقة وتنفيذ التغييرات الموصى بها. وعلى كل حال، فلو تعطل الخــط بطريقة ما لاحقا لتمكنت دائرة الاستشــعار من اكتشــاف تذبــذب القُلطية، ولقامــت بتوصيل المعلومة إلى المعالجات في المحطات الفرعية القريبة؛ ولكان بإمكان المعالجــات توجيه الطاقة خلال أجزاء أخرى من الشــبكة؛ ولكان أكثر ما يمكن أن يراه المستهلك ضمن منطقة كبيرة هو تذبذب وجيز في الإضاءة، وما كان الكثير من الناس ليشعر بأي مشكلة على الإطلاق. ■

(١) look-ahead simulators

المؤلفان

Massoud Amin - Phillip F. Schewe

هما من المروجين لمزايا الشــبكة الذكية لسنوات. <**مســعود أمين**> أستاذ الهندسة الكهربائية والحاســوب في جامعة مينيســوتا ومدير مركز الجامعــة لتطوير القيادة التقانيــة، وعندما كان يعمل في معهد أبحاث الطاقــة الكهربائية ببالوألتو بكاليفورنيا كان قائــدا لتطوير ما يزيد على عشــرين مــن التقانات المتقدمة، ووضع أساســيات «الشــبكة الذاتية الإصلاح»، وهو اصطلاح قام هو أيضا بابتكاره. وأما <**شــيوي**>، فهو كبير كُتّاب العلوم في المعهد الأمريكي للفيزياء، ويقوم بتحرير النشــرة الأسبوعية للمعهد Physics News Update.

مراجع للاستزادة

Technical Analysis of the August 14 -2003 , Blackout : What Happened , Why , and What Did we learn? North American Electric Reliability Council , 2004.

Available at www.nerc.com/-Filez/blackout.html

Toward a Smart Grid : Power Delivery for the 21st Century. Masseud Amin and Bruce F. Wollenberg in IEEE Power and Energy Magazine , Vol. 3, No. 5 , pages 34-41 ; September / October 2005.

The Grid : A Journey through the Heart of our Electrified World. Philip F. Schewe. Joseph Henry Press , 2007

Scientific American, May 2007

كَشّاف موضوعات مجلة العلوم
2014

نورد في هذا الكشاف المقالات التي نشرت في **العلوم** عام 2014 (المجلد 30)، ونضع إلى يسار عنوان كل مقالة (*رقم العدد – رقم الصفحة*).
وقد تم ترتيب هذه المقالات *ألفبائيا* ضمن تخصصاتها المعروضة في الإطار أدناه مرتبة *ألفبائيا* أيضا بعد إهمال "أل" التعريف وكلمة "عِلْم" و"علوم".

أرصاد جوية
علم الأرض
علم الاقتصاد
أمراض مستجدة
أمراض معدية
أمن إلكتروني

أمن جوي
بيئة
تاريخ العلوم
تربية
تطور
تغير مناخي

تقانة المعلومات
تقانة الغذاء
تقرير خاص
علوم الدماغ
رياضيات
علم السلوك

سلوك الحيوان
صحة
طاقة
طب
العقل
العلم والمجتمع

علوم عصبية
فضاء
علم الفلك
فيزياء
كيمياء
علوم معرفية

علوم المناخ
علم النفس
هندسة
أبواب ثابتة
تقدمات

أرصاد جوية
• الاستمطار (42 - 8/7)

علم الأرض
• الصخور الأقدم على الكرة الأرضية (19 - 8/7)

علم الاقتصاد
• الاقتصاد الاحتيالي (40 - 12/11)

أمراض مستجدة
• كيف تقتل القطة الصغيرة الدلافين (20 - 2/1)

أمراض معدية
• الفطريات قادمة (25 - 6/5)

أمن إلكتروني
• حماية البيانات الكبيرة من نفسها (62 - 12/11)

أمن جوي
• اختراق نظام الطائرات من دون طيار (30 - 3/4)

بيئة
• قار الاحتباس الحراري (26 - 2/1)

تاريخ العلوم
• القضية المرفوعة ضد <كوبرنيكس> (4 - 6/5)

تربية
• علم التعلم (46 - 12/11)

تطور
• الأصول المدهشة لتعقد الحياة (46 - 2/1)
• ملك الضواري (64 - 4/3)

تغير مناخي
• أمل خادع (26 - 8/7)

تقانة المعلومات
• إدراك حسي إضافي (10 - 12/11)
• ألعاب العقل (56 - 6/5)
• طوفان من البيانات (15 - 8/7)
• قضية الكلمات المسروقة (58 - 8/7)
• المجتمع المسيَّر بالبيانات (30 - 10/9)

تقانة الغذاء
• إنتاج فواكه وخضراوات أفضل مذاقا (22 - 10/9)

تقرير خاص
• مقدمة (64 - 6/5)
• الإنسالة robot مدير أعمالي (65 - 6/5)
• بزوغ الآلات النانوية (76 - 6/5)
• طباعة المستحيل (72 - 6/5)
• محاكاة رقمية (79 - 6/5)
• مواد المستقبل (69 - 6/5)

علوم الدماغ
• تذكر الماضي كُلِّه (56 - 10/9)

رياضيات
• التاريخ الروحي السري لحساب التكامل (38 - 8/7)
• لا تقل أبدا هذا مستحيل (38 - 10/9)

علم السلوك
• عادات حسنة وأخرى سيئة (34 - 12/11)

سلوك الحيوان
• عندما تتفجع الحيوانات (44 - 4/3)
• طائر ذكي (8 - 10/9)

صحة
• العبقرية الشيطانية لبلاء قديم (78 - 2/1)
• ما سبب المفعول السحري لممارسة التمارين الرياضية (34 - 6/5)

طاقة
• إمبراطورية جديدة لروسيا: قدرتها النووية (12 - 2/1)
• الحيلولة دون انقطاع شامل للكهرباء (66 - 12/11)
• الصعود البطيء الطويل للطاقة الشمسية ولطاقة الرياح (10 - 6/5)
• التكلفة الحقيقية للوقود الأحفوري (4 - 8/7)

طب
• بذور علاج (8 - 8/7)
• تحرير الجهاز المناعي من مكابح الخلايا السرطانية عليه (32 - 8/7)
• ثورة الرنا RNA (42 - 10/9)
• السلسلة الطويلة من ألغاز السرطان (26 - 4/3)
• طريقة غير مباشرة لكبح السرطان (40 - 6/5)
• الفصل الثاني من العلاج الجيني (52 - 8/7)

العقل
• لِمَ يفضل الدماغ الورق (36 - 4/3)

العلم والمجتمع
• الخصوصية... كيف ينبغي أن نفكر فيها؟ (4 - 2/1)

علوم عصبية
• اختراق الحائل الدماغي (38 - 2/1)
• استنبت عينا لك (52 - 2/1)
• قرن جديد في أبحاث الدماغ (16 - 12/11)
• محرك الذاكرة (25 - 12/11)

فضاء
• كائنات بشرية على متن سفينة النجوم (71 - 2/1)
• كيفية البحث عن وجود حياة على المريخ (4 - 12/11)

علم الفلك
• البحث عن حياة على أقمار بعيدة (50 - 6/5)
• عوالم بشمسين (62 - 10/9)

فيزياء
• الآلة الختامية للأشعة السينية (62 - 8/7)
• جدران من المياه (34 - 2/1)
• الكمُّ اللاكمومي (70 - 4/3)
• ما هو الحقيقي؟ (8 - 4/3)

كيمياء
• تصدعات في الجدول الدوري للعناصر (20 - 4/3)
• لقاء حائزي جوائز نوبل في الكيمياء (48 - 4/3)

علوم معرفية
• العالم بدون إرادة حرة (4 - 10/9)

علم المناخ
• عاصفة القرن (كل سنتين) (58 - 2/1)

علم النفس
• عقلنا اللاواعي (16 - 6/5)
• كيف يغير گوگل دماغك (4 - 4/3)
• لماذا تحجب أفكارٌ جيدة أفكاراً أفضل (50 - 10/9)

هندسة
• انتشال حطام سفينة (16 - 4/3)
• محاكاة خلية حية (14 - 10/9)
• مكونات ذات شكل متكيف آتية (52 - 12/11)

أبواب ثابتة

تقدمات
• إلقاء اللوم على الشتاء (74 - 4/3)
• علم الطهي المفرغ من الهواء (70 - 10/9)
• هجوم ضد الإنفلونزا (82 - 6/5)

(قسيمة اشتراك / تجديد اشتراك في العلوم)

* أرجو تسجيل / تجديد اشتراكي في العلوم لمدة (   ) سنة

اعتبارا من الشهر .... عام ....

الاسم : ....

الوظيفة/ المهنة (اختياري) : ....

العنوان البريدي: ....

.... فاكس : ....

العنوان الإلكتروني : ....

هاتف : نقال .... عمل .... منزل ....

مرفق القيمة وقدرها (..)

شيك/ حوالة رقم (..) بتاريخ ....

مسحوب على ....

التوقيع ....

الاشتراكات

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ترسل طلبات **الاشتراكات** إلى المجلة مرفقة بشيك أو حوالة باسم «**شركة التقدم العلمي للنشر والتوزيع**» مسحوبين على أحد **البنوك الكويتية** التالية.

* بنك الكويت الوطني	* National Bank of Kuwait
* البنك التجاري الكويتي	* The Commercialk Bank of Kuwait
* البنك الأهلي الكويتي	* Al Ahli Bank of Kuwait
* بنك الخليج	* The Gulf Bank
* بنك برقان	* Burgan Bank
* البنك الأهلي المتحد	* Ahli United Bank
* بيت التمويل الكويتي	* Kuwait Finance House

(قسيمة إهداء اشتراك في العلوم)

لقريب أو صديق أو مؤسسة

* أرجو تسجيل اشتراك في العلوم كإهداء لمدة (   ) سنة

اعتبارا من الشهر .... عام ....

اسم المُهْدى إليه : .... Name:

الوظيفة/ المهنة (اختياري) : ....

العنوان البريدي : .... Mailing Address:

.... فاكس : ....

العنوان الإلكتروني : .... e-mail:

هاتف : نقال .... عمل .... منزل ....

مرفق القيمة وقدرها (..)

شيك/حوالةرقم (..) بتاريخ..

مسحوب على ....

اسم مقدم الإهداء : ....

العنوان : ....

.... فاكس : ....

هاتف : نقال .... عمل .... منزل ....

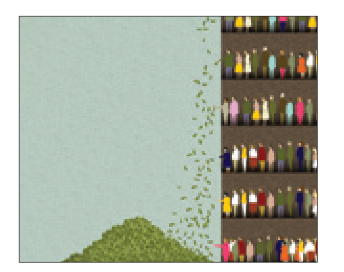
التاريخ ....

التوقيع ....



شارع أحمد الجابر، الشرق – الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
العنوان الإلكتروني: e-mail: oloom@kfas.org.kw
هاتف: 22428186 (965+) – فاكس: 22403895 (965+)

40



ECONOMICS

The Ponzi Economy

By Kaushik Basu

Many perfectly legal business practices resemble the infamous con game writ large.



46



EDUCATION

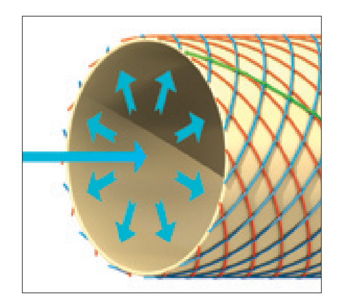
The Science of Learning

By Barbara Kantrowitz

Also: "Stop Lecturing Me," *by Carl Wieman*

Researchers are using tools borrowed from medicine and economics to figure out what works best in the classroom.

52



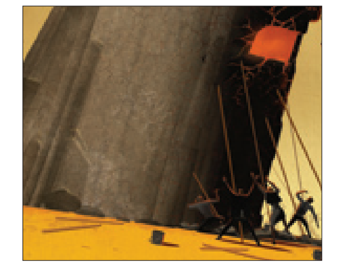
ENGINEERING

Shape-Shifting Things to Come

By Sridhar Kota

Flexible, one-piece machines could soon make today's assemblages of rigid parts look like antiques.

62



CYBERSECURITY

Saving Big Data from Itself

By Alex "Sandy" Pentland

An architect of the digital age offers advice on how to handle mass information in an era of government overreach.

66



ENERGY

Preventing Blackouts

By Massoud Amin - Phillip F. Schewe

A smarter power grid that automatically responds to problems could reduce the rising number of debilitating blackouts.

76 **Subject Index 2014**

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag

Majallat AlOloom November / December - 2014 Volume 30 Number 11/12 SCIENTIFIC AMERICAN



4



PLANETARY SCIENCE

How to Search for Life on Mars

By Christopher P. McKay and Victor Parro García

Future missions to the Red Planet may carry tools of microbiology that can reveal whether life once existed on our closest neighbor.

10



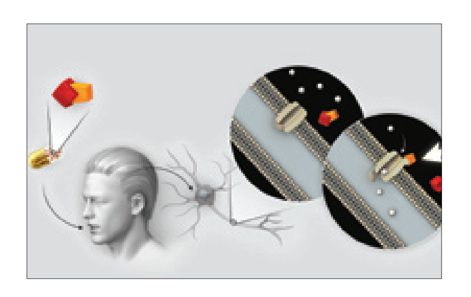
COMPUTER SCIENCE

Extra Sensory Perception

By Gershon Dublon and Joseph A. Paradiso

Soon the world will be filled with tiny sensors. They will change the way we see, hear, think and live.

16



NEUROSCIENCE

The New Century of the Brain

By Rafael Yuste and George M. Church

How do billions of neurons give rise to thoughts and emotions? New technologies will help us find out.

25



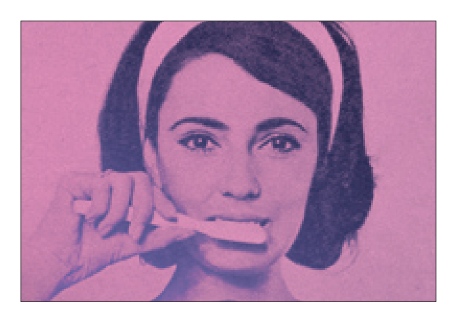
NEUROSCIENCE

The Engine of Memory

By Donald G. Mackay

We maintain our memories by rebuilding them over and over. How the most famous patient in neuroscience led us to the discovery.

34



BEHAVIORAL SCIENCE

Good Habits, Bad Habits

By Ann M. Graybiel and Kyle S. Smith

By deciphering the neural mechanisms that underlie our daily rituals, researchers are beginning to explain how we form habits and why breaking them can be such a struggle.



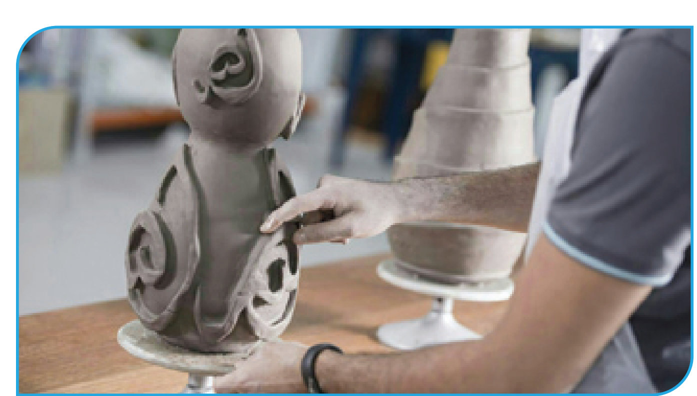
Vision: to convert the center into a globally distinguished institution that cares for gifted and talented Kuwaitis, invests in their innovations for developmental purposes, and takes them to global levels.

الـرؤيـــة: ان يصبح المركز مؤسســـة متميـزة عالمياً، وتعنى برعاية الموهوبين والمبدعين من ابناء دولة الكويت، واستثمار ابداعاتهم لأغراض التنمية، والوصول بهم إلى العالمية.

Mission: contributing to build a Kuwaiti society that fosters giftedness and creativity.

الرســالـة: المساهمة في بناء مجتمع كويتي يدعم ويرعى الموهوبين والمبدعين ويستثمر قدراتهم.

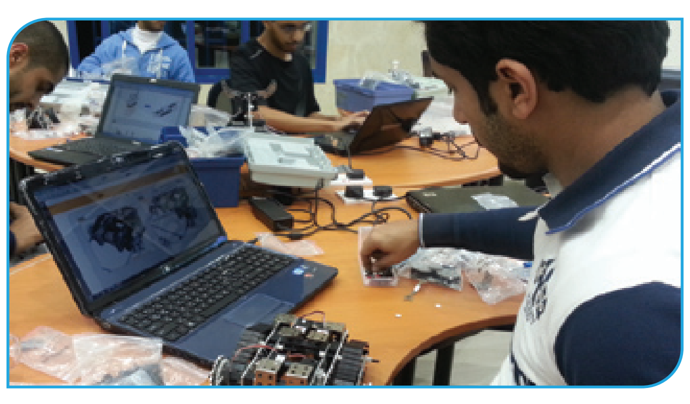












 sacgc_kw

 sacgc_kw



Sackwt

 Sac.kwt

Tel.: +965 22991100 www.sacgc.org info@sacgc.org

Social Media **التواصل الإجتماعي**